



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Nuno Filipe Ribeiro da Silva

**ESTUDO E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM
SOLOS EROSIVOS — CASO DE ESTUDO
CABINDA–ANGOLA**

Relatório de Projeto de Mestrado

Orientador

Professora Doutora Ana Paula Gerardo Machado, Instituto Politécnico de Tomar

Relatório apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre
em Reabilitação Urbana

Aos meus pais...

RESUMO

Este trabalho aborda a problemática da erosão dos solos que constitui um tema de grande relevância e impacto no continente africano. Os vários fatores intervenientes na erosão dos solos são analisados e são apresentadas soluções de engenharia natural. Constatou-se que o recurso à proteção vegetal, nos taludes, associada a sistemas de controlo das águas, constitui o método mais adequado para a prevenção e para o controlo da erosão.

Tendo por base um estudo de caso da província de Cabinda – Angola, procedeu-se a uma abordagem detalhada à classificação das características físicas e mecânicas. Para a caracterização dos solos locais foram realizados alguns ensaios laboratoriais.

Apresenta-se uma proposta de solução acompanhada de um registo fotográfico para que se verifique a sua adequação no terreno.

Por fim, é apresentado um plano para identificação e previsão de áreas suscetíveis à erosão. A elaboração de cartas de risco constitui um bom princípio para a prevenção.

Palavras-chave: erosão, ravinas, solos erodíveis, erosão em Cabinda – Angola, métodos de tratamento de áreas degradadas, engenharia natural, cartas de risco, prevenção contra a erosão.

ABSTRACT

This paper deals with the problem of soil erosion, which is a subject of great relevance and impact on African continent. The various factors involved in soil erosion are analyzed and natural engineering solutions are presented. It has been found that the use of vegetation protection in the slopes, associated with water control systems, is the most appropriate method for prevention and control of erosion.

Based on a case study from the province of Cabinda – Angola, a detailed approach and a classification of physical and mechanical characteristics are applied. For the characterization of the local soils, some laboratory tests were performed.

There is a proposal for a solution accompanied by a photographic record to verify its suitability on the ground.

Finally, a plan for the identification and prediction of areas susceptible to erosion is presented. The development of risk maps is a good principle for prevention.

Keywords: erosion, ravines, erodible soils, erosion in Cabinda – Angola, methods of treatment of degraded areas, natural engineering, risk maps, prevention against erosion.

AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado é o resultado de várias sinergias e colaboração de várias pessoas que ao abdicarem do seu tempo, contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional por isso, quero expressar os meus sinceros agradecimentos.

- Ao meu Deus, pela sabedoria, força, coragem e foco. Que este trabalho seja para honra e glória Dele.

- Às empresas BDM, Engenharia e Tecnologia e PROENGE, Engenharia de Projectos, que disponibilizaram meios e recursos para a realização dos estudos apresentados.

- Ao Dr. Janilson Araújo, diretor geral da empresa BDM, que sempre me motivou e incentivou, para o crescimento pessoal e profissional, disponibilizando ferramentas e meios para atingir os objetivos. Agradeço, ainda, o conhecimento transmitido e a oportunidade para o estudo desta grande temática.

- Ao Eng. Fernando Melo, supervisor da área de projetos que sempre contribuiu com o seu conhecimento, através de conversas ou bibliografia, para a abordagem à temática.

- Aos meus colegas de trabalho, pelo incentivo e partilha de informação, para o meu enriquecimento profissional.

- Ao Instituto Politécnico de Tomar (IPT), expresso a enorme gratidão porque através do seu corpo docente permitiu o meu desenvolvimento académico.

- À minha orientadora, Doutora Ana Paula, pelo incentivo incansável! Agradeço o desafio para continuar os meus estudos de mestrado. Este trabalho é fruto do seu incentivo

à abordagem do tema e da motivação através do seu conhecimento vasto na área da Geotecnia.

- Aos meus pais, que sempre me incentivaram e transmitiram o valor do trabalho, sem o qual não se consegue atingir as metas ambicionadas.

- Aos meus familiares e amigos, dos quais tenho abdicado, agradeço pela paciência e incentivo.

A todos o meu bem-haja!

Índice

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
AGRADECIMENTOS	VII
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Enquadramento histórico	2
2. Taludes e tipos de erosão	3
2.1. Tipos de taludes	3
2.2. Tipos de erosão — movimentos de massa.....	6
2.2.1. Escorregamentos	9
2.2.2. Causas gerais dos escorregamentos	11
2.2.3. Influência da vegetação.....	13
2.3. Agentes erosivos	14
2.3.1. Ação hidrológica.....	14
2.3.1.1. Bacia Hidrográfica.....	15
2.3.1.2. Precipitação.....	17
2.3.1.3. Interceção	18
2.3.1.4. Evaporação.....	20
2.3.1.5. Evapotranspiração.....	20
2.3.1.6. Infiltração	21
2.3.1.7. Escoamento Superficial	21
2.3.1.8. Escoamento Subterrâneo.....	22
2.3.1.9. Influência hidráulica na erosão	23
2.3.2. Ação do vento	25
2.3.3. Ação do Homem	26
2.3.3.1. Desmatção descontrolada.....	26
2.3.3.2. Construção em áreas de risco.....	27
2.3.3.3. Infraestruturas	29
2.3.3.4. Caminhos pedestres	31

3.	Caraterização da situação	32
3.1.	Levantamento geométrico.....	32
3.1.1.	Introdução	32
3.1.2.	Topografia clássica — Estação total e GPS de alta precisão	32
3.1.3.	<i>Laser scan</i>	33
3.1.4.	VANT	35
3.2.	Caraterização do solo	37
3.2.1.	<i>Características Mesológicas de Angola</i>	37
3.3.	Mapa de erosão 1:2 000 000	37
3.4.	Reconhecimento geotécnico e ensaios.....	38
3.5.	Aplicação da equação universal de perda de solo (EUPS)	40
3.5.1.	Erosividade (R)	41
3.5.2.	Erodibilidade (K)	42
3.5.3.	Topografia (LS)	43
3.5.4.	Coberto vegetal (C).....	44
3.5.5.	Práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão (P)	45
4.	Técnicas para tratamento e prevenção da erosão	46
4.1.	Medidas de emergência	46
4.1.1.	Rip Rap (solo ensacado)	47
4.2.	Medidas de proteção	48
4.2.1.	Valas de retenção	49
4.2.2.	Banquetas.....	49
4.3.	Medidas de correção	50
4.4.	Medidas de suporte e contenção	50
4.4.1.	Muros de gravidade em alvenaria de pedra	51
4.4.2.	Muros de gravidade em betão ciclópico	52
4.4.3.	Muros de betão armado.....	52
4.4.4.	Muros de betão armado com contrafortes.....	53
4.4.5.	Muros de gabião.....	53
4.4.6.	« <i>Crib walls</i> ».....	55
4.4.7.	Muros de sacos de solo-cimento	55

4.4.8.	Pregagens	56
4.4.9.	Parede tipo Berlim	56
4.4.10.	Cortina de estacas	57
4.4.11.	Paredes Ancoradas	58
4.5.	Medidas de engenharia natural	58
4.5.1.	Sementeira	60
4.5.2.	Hidrossementeira	61
4.5.3.	Estacaria viva	62
4.5.4.	Fascina viva	64
4.5.5.	Entrançados vivos	66
4.5.6.	Esteira de ramagem.....	67
4.5.7.	Leito de vegetação ou de ramagens	69
4.5.8.	Gabiões vivos.....	70
4.5.9.	Terra reforçada.....	72
4.5.10.	Grade viva.....	73
4.5.11.	Geotêxteis e geomalhas vivas	75
4.5.12.	Barreiras de contenção do solo	77
5.	Estudo de caso — Ravina 3, Morro do Tchizo, Cabinda–Angola	79
5.1.	Enquadramento territorial e administrativo	79
5.2.	Clima.....	81
5.2.1.	Precipitação.....	83
5.2.2.	Geadas	85
5.2.3.	Temperatura, humidade e insolação	86
5.3.	Enquadramento geológico e geomorfológico	88
5.3.1.	Geologia.....	88
5.3.2.	Geomorfologia	90
5.3.3.	Tectónica.....	93
5.4.	Hidrologia	95
5.5.	Solos.....	96
5.6.	Vegetação.....	98
5.7.	Características territoriais	100
5.8.	Estudos e diagnóstico.....	101

5.8.1.1. Geomorfologia	101
5.8.1.2. Clima.....	101
5.8.1.3. Solos.....	101
5.8.1.4. Vegetação.....	102
5.8.2. Situação atual — visita técnica	102
5.8.2.1. Registo fotográfico	103
5.8.2.2. Estudo topográfico	106
5.8.2.3. Estudo geológico e geotécnico	107
5.8.2.3.1. Aspetos geológicos locais.....	108
5.8.2.3.2. Aspetos geotécnicos	109
5.8.2.4. Ocupação do solo	109
5.8.2.5. Análise de estabilidade de talude	110
5.8.2.6. Definição do fator de segurança mínimo adotado	110
5.8.3. Diagnóstico	111
5.9. Técnica de tratamento aplicada.....	112
5.9.1. Medidas de emergência	114
5.9.2. Projetos e especificações técnicas.....	115
5.9.2.1. Projeto de Terraplenagem	115
5.9.2.2. Projeto estrutural.....	118
5.9.2.3. Projeto de drenagem	119
5.9.2.4. Projeto de proteção ambiental.....	120
5.10. Ensaaios laboratoriais	121
5.10.1. Recolha da amostra	122
5.10.2. Teor em água	124
5.10.3. Análise granulométrica	125
5.10.4. Densidade das partículas.....	128
5.10.5. Limites de consistência	129
5.10.6. Corte direto	133
5.10.7. Medição de erosão	140
5.10.8. Classificação do solo	147
5.10.8.1. Classificação para fins rodoviários (E240, 1971)	148
5.10.8.2. Classificação unificada (ASTM D 2478).....	149

5.10.9.	Conclusões	151
5.11.	Programa de prevenção e monitorização geotécnica	153
5.11.1.	Introdução	153
5.11.2.	Metodologia dos trabalhos	153
5.11.3.	Trabalhos de monitorização geotécnica	155
5.11.3.1.	Alterações na drenagem e escoamento superficial	155
5.11.3.2.	Erosões e roturas de taludes	156
5.12.	Evolução e implementação do processo de tratamento	159
6.	Análise de risco de pontos suscetíveis a erosão	166
6.1.	Introdução	166
6.2.	Sistema de informação geográfica - SIG	166
6.3.	Materiais e métodos	168
6.4.	Caracterização geográfica da área de estudo	171
6.4.1.	Fator Erosividade (R)	174
6.4.2.	Fator Erodibilidade (K)	175
6.4.3.	Fator Topográfico (LS)	176
6.4.4.	Fator Coberto vegetal (C)	177
6.4.5.	Fator de Práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão (P)	178
6.4.6.	Fator Infraestruturas (I)	179
6.4.7.	Fator Pontos confluência de águas superficiais (T)	180
6.5.	Resultados e discussão	181
7.	Conclusões e recomendações	182
8.	Bibliografia	184
9.	Referências bibliográficas eletrónicas:	191
A.	Anexos	194
A.1.	Boletins de ensaio	195
A.1.1.	NP 84 – Teor em água (estado natural) – Ravina 3	196
A.1.2.	NP 196 – Análise Granulométrica – Ravina 3	197
A.1.3.	NP 84 – Teor em água (Análise granulométrica) – Ravina 3	199
A.1.4.	NP83 – Densidade das Partículas – Ravina 3	200

A.1.5.	NP 143 – Limites de Consistência – Ravina 3.....	201
A.1.6.	Corte direto – Ravina 3	203
A.1.7.	NP 84 – Teor em água (Corte direto) – Ravina 3	206
A.1.8.	NP 84 – Teor em água (estado natural) – Ravina 5	207
A.1.9.	NP 196 – Análise Granulométrica – Ravina 5.....	208
A.1.10.	NP 84 – Teor em água (Análise granulométrica) – Ravina 5	210
A.1.11.	NP83 – Densidade das Partículas – Ravina 5	211
A.1.12.	NP 143 – Limites de Consistência – Ravina 5	212
A.1.13.	Corte direto – Ravina 5	214
A.1.14.	NP 84 – Teor em água (Corte direto) – Ravina 5.....	217
A.1.15.	Boletins de ensaio – Análise Granulométrica – Ravina 3 e 5	218
A.2.	Declarações e autorizações especiais	219
A.2.1.	Declaração de autorização de transporte de solo	220
A.2.2.	Declaração de autorização de uso de informação – BDM.....	221

Índice de figuras

Figura 1 – Talude de rodovia com banquetas (Gestão Ambiental, 2016)	4
Figura 2 – Notícia publicada no Jornal (AngloNoticias, 2011).....	5
Figura 3 – Miradouro da Lua, Angola (RTP.pt, 1993).....	6
Figura 4 – Encosta da Samba, Luanda (BDM, 2018).....	7
Figura 5 – Esquema da evolução da ravina (Futai; Almeida; Lacerda, 2005)	8
Figura 6 – Variação do fator de segurança com o tempo (Futai; Almeida; Lacerda, 2005) .	8
Figura 7 – Elementos que caracterizam a massa deslocada (ABNT, 2008).....	9
Figura 8 – Ocupação do solo em área de risco Encosta da Samba, Luanda (BDM, 2018)...	9
Figura 9 – Rotura por translação (Denise M. S. Gerscovich. 2013).....	10
Figura 10 – Rotura circular. (GeoRio, 1999).....	10
Figura 11 – Rotura mista (Denise M. S. Gerscovich, 2013)	11
Figura 12 – Aumento de resistência do solo por influência de sobrecarga, Cabinda.....	14
Figura 13 – Ciclo hidrológico (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984).....	14
Figura 14 – Bacias Hidrográficas de Angola (A. C. Diniz, 1973)	16
Figura 15 – Classificação dos rios segundo Strahler, 1952 (esquerda) e DGRAH, 1981 (direita)	16
Figura 16 – Carta de precipitação média anual em milímetros (A. C. Diniz 1973).....	18
Figura 17 – Componentes da interceção (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984).....	19
Figura 18 – Evapotranspiração média anual em milímetros (A. C. Diniz, 1973)	20
Figura 19 – Esquema dos diferentes tipos de aquíferos (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)	22
Figura 20 – Balanço do solo no estado natural (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984).....	23
Figura 21 – Erosão de encosta (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)	24
Figura 22 – Exemplo de erosão em encosta, Cabinda (Proenge, 2017)	24
Figura 23 – Tombamento proveniente da ação do vento (National Weather Service, 2017)	25
Figura 24 – Efeito do ângulo de talude na ocorrência de movimentos de massa (adaptado de Norman, 1995).....	26
Figura 25 – Imagem aérea antes e depois da desmatção (Google Earth, 2006 e 2016)	27
Figura 26 – Evolução histórica da população 1940/2000 (Governo de Angola, 1989)	27

Figura 27 – Bairro de Musseque (Creative boom, 2018)	28
Figura 28 – Construções em risco, Kuito Cuanavale (BDM, 2018)	28
Figura 29 – Erosão em passagem hidráulica (ProEnge, 2018).....	29
Figura 30 – Queimadas expondo o solo à erosão, sem cobertura vegetal (Blog Palhão, 2013)	30
Figura 31 – Erosão sem controlo na fase inicial.....	30
Figura 32 – Caminho pedestre.....	31
Figura 33 – Estação total (esquerda), GPS (direita), (Leica, 2018).....	33
Figura 34 – Levantamento efetuado com topografia clássica (BDM, 2017).....	33
Figura 35 – <i>Laser scan</i> (Leica, 2018).....	34
Figura 36 – Levantamento efetuado com <i>laser scan</i> , curvas de nível (BDM, 2017).....	34
Figura 37 – Levantamento efetuado com <i>laser scan</i> , modelo tridimensional (BDM, 2017)	35
Figura 38 – VANT, drone Phantom 4 pro (DJI, 2018).....	35
Figura 39 – Levantamento efetuado com VANT, curvas de nível 3D (BDM, 2017)	36
Figura 40 – Levantamento efetuado com VANT, ortofotografia (BDM, 2017)	36
Figura 41 – Levantamento efetuado com VANT, modelo virtual 3D (BDM, 2017).....	36
Figura 42 - Mapa de erosão a escala 1:2 000 000 (Bahr, Mapping printing, 2016).....	38
Figura 43 – Ábaco para a determinação do fator de erodibilidade do solo (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)	43
Figura 44 – Ábaco para determinação do fator LS (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984) ...	44
Figura 45 – Exemplo de processo erosivo, (Colegioweb, 2000).....	46
Figura 46 – Medida de emergência de valeta, desvio de águas pluviais (BDM, 2017)	47
Figura 47 - Trabalhos de contenção provisória - ravinas de Pylone, Boukeni, Don Bosco e Itsaly - República Democrática do Congo, (ACA - Congo, 2016).....	48
Figura 48 – Comportamento do material instabilizado segundo o ângulo do talude (Neves, 1995).....	49
Figura 49 – Banquetas com valetas (Escola superior de Agronomia, 2008).....	49
Figura 50 – Exemplos de execução de reperfilamento em taludes (Carvalho, 1991)	50
Figura 51 – Muros de gravidade em alvenaria de pedra (Cype, 2017)	51
Figura 52 – Pormenor esquemático de muros de gravidade em alvenaria de pedra (Fac. Eng, 2017).....	51

Figura 53 – Muros de gravidade em betão ciclópico (Cype, 2017)	52
Figura 54 – Muro de suporte em betão armado (Geo-Rumo, 2018)	53
Figura 55 – Muro de suporte em betão armado com contrafortes (SOPE engenharia, 2017)	53
Figura 56 – Muro de gabião (NTC, 2018).....	54
Figura 57 – Gabião caixa (Geobrasil, 2018).....	54
Figura 58 – Gabião manta (Geobrasil, 2018)	54
Figura 59 – Gabião saco (Geobrasil, 2018).....	55
Figura 60 – Muro « <i>Crib walls</i> » (RPC contracts, 2018)	55
Figura 61 – Muro de sacos de solo-cimento (Cimento montes claros, 2018).....	56
Figura 62 – Aplicação de tirante de aço do método de pregagens (Ancorporgrup, 2016)..	56
Figura 63 – Execução dos muros de Berlim (Indubel, 2018).....	57
Figura 64 – Execução de estacas (MA fundações, Lda., 2014).....	57
Figura 65 – Parede com ancoragem (ESO, 2017)	58
Figura 66 – Várias áreas de intervenção de forma esquemática (EcoSalix, 2007)	58
Figura 67 – Intervenções de Engenharia Natural para a gestão dos sistemas hidrológicos (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	59
Figura 68 – Método de sementeira (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	60
Figura 69 – Aplicação manual do método de hidrossementeira (Verdetec Brasil, 2016) ...	61
Figura 70 – Mistura mulch para hidrossementeira (Sementes Caiçara, 2016).....	62
Figura 71 – Aspeto final do método de estacaria viva (EcoSalix, 2007)	63
Figura 72 – Detalhe construtivo (Rios+, 2016)	63
Figura 73 – Aspeto final do método de fascina viva (EcoSalix, 2016)	65
Figura 74 – Detalhe construtivo (Rios+, 2018)	65
Figura 75 – Aspeto final do método de entrancados vivos (EcoSalix, 2016)	66
Figura 76 – Detalhe construtivo da técnica de entrancados vivos (Rios+, 2018)	66
Figura 77 – Durante e depois da construção do método de esteira de ramagem (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	68
Figura 78 – Detalhe construtivo (João P. Fernandes e Aldo R. M. Freitas, 2011).....	68
Figura 79 – Método de leito de vegetação ou de ramagens (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)	69
Figura 80 – Detalhe construtivo (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	70

Figura 81 – Aspeto final do método gabiões vivos (EcoSalix, 2016)	71
Figura 82 – Detalhe construtivo (Rios+, 2016)	71
Figura 83 – Durante a intervenção de terra reforçada (EcoSalix, 2016)	72
Figura 84 – Aspeto final da intervenção com terra reforçada (EcoSalix, 2016)	72
Figura 85 – Detalhe construtivo (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	73
Figura 86 – Várias fases do método grade viva (Engenharia verde, 2007).....	74
Figura 87 – Detalhe construtivo (Martinho, 2005).....	75
Figura 88 – Durante a aplicação da Biomanta (EcoSalix, 2016).....	76
Figura 89 – Aspeto final da aplicação da Biomanta (EcoSalix, 2016).....	77
Figura 90 – Método de barreiras de contenção de solo (LIFE/GTF, 2005)	78
Figura 91 – Enquadramento territorial da província de Cabinda (BDM, 2017).....	80
Figura 92 – Plano Geral de Cabinda (Fonte, Marques M.M., 1977).....	80
Figura 93 – Crescimento desordenado em área de risco (BDM, 2017)	81
Figura 94 – Classificação Thornthwaite (Thornthwaite e Mather, 1955)	81
Figura 95 – Classificação Koppen (Koppen-Geiger, 1900)	82
Figura 96 – Período da estação de chuva (Diniz, 1973).....	83
Figura 97 – Precipitação média anual em milímetros (Diniz, 1973).....	83
Figura 98 – Medição de precipitação média de 1961 a 1990 (INAMET, 1990).....	84
Figura 99 – Precipitações mensais médias em milímetros (13.º Congresso da água, 2016).....	84
Figura 100 – Número de dias de precipitação (Diniz, 1973).....	85
Figura 101 – Ocorrência de geada (Diniz, 1973)	85
Figura 102 – Evaporação de Piche, média anual em milímetros (Diniz, 1973).....	86
Figura 103 – Insolação, média anual em percentagem (Diniz, 1973)	86
Figura 104 – Amplitude térmica média anual em graus Celsius (Diniz, 1973)	87
Figura 105 – Amplitude da humidade relativa média anual em percentagem (Diniz, 1973)	87
Figura 106 – Medição de temperatura média de 1961 a 1990 (INAMET, 1990)	88
Figura 107 – Época fresca e quente em meses (Diniz, 1973).....	88
Figura 108 – Esboço Geológico e Litológico de Cabinda (Diniz, 1973)	89
Figura 109 – Mapa geomorfológico de Angola (Marques,1977).....	92
Figura 110 – Geomorfologia de Angola (Diniz, 1973)	93

Figura 111 – Extrato da Carta Geológica de Angola à escala 1/1 000 000 (INEG - Instituto Nacional de Geologia, 1988).....	94
Figura 112 – Legenda da Carta Geológica de Angola à escala 1/1 000 000 (INEG - Instituto Nacional de Geologia, 1988).....	94
Figura 113 – Rede hidrográfica do município de Cabinda (IGCA, 2007)	95
Figura 114 – Vista panorâmica no ponto de descarga (BDM, 2016)	96
Figura 115 – Esboço pedológico dos solos de Cabinda (Diniz, 1973).....	96
Figura 116 – Carta geral dos solos de Angola, província de Cabinda (Ministério do Ultramar, 1965).....	98
Figura 117 – Esboço da vegetação de Cabinda (Diniz, 1973).....	99
Figura 118 – Esboço territorial da província de Cabinda (CIA, 1977)	100
Figura 119 – Morro do Tchizo, Cabinda (BDM, 2017)	101
Figura 120 – Situação inicial (à esquerda), origem do processo erosivo em passagem hidráulica (ao meio), evolução da ravina 3 a jusante da passagem hidráulica (à direita) — abril, 2015, (BDM, 2015)	103
Figura 121 – Processo erosivo, com afectação da passagem rodoviária — abril, 2016, (BDM, 2016).....	103
Figura 122 – Vista aérea da ravina em novembro de 2016, com o avanço da frente ativa sobre a estrada (BDM, 2016)	103
Figura 123 – Estrada totalmente interrompida pela ravina. Observar a declividade da via de rodagem no sentido da encosta — abril, 2017 (BDM, 2017).....	104
Figura 124 – Vista do lado Sul da ravina — abril, 2017 (BDM, 2017)	104
Figura 125 – Pormenor que demonstra a natureza granular do solo, de composição arenosa fina siltosa pouco argilosa, e os taludes verticalizados — abril, 2017 (BDM, 2017)	105
Figura 126 – Vista da ravina para jusante, observando-se os taludes muito íngremes a verticalizados, taludes negativos e acumulação de material desmoronado — abril, 2017 (BDM, 2017)	105
Figura 127 – Pormenor da imagem anterior, da parte final do trecho ativo da ravina, com taludes verticalizados e marcas de escorregamentos — abril, 2017 (BDM, 2017).....	106
Figura 128 – Levantamento topográfico clássico (BDM, 2017).....	106
Figura 129 – Imagem aérea obtida por drone (BDM, Março/2017)	107

Figura 130 – Medidas de emergência valeta (vermelho), área de expropriação (verde) (BDM, 2017).....	114
Figura 131 – Planta de terraplenagem, extraída do projeto de execução (BDM, 2017) ...	116
Figura 132 – Perfil de escavação, extraído do projeto de execução (BDM, 2017)	116
Figura 133 – Perfil longitudinal, projeto de execução (BDM, 2017).....	117
Figura 134 – Planta geral com taludes, banquetas e dispositivos de drenagem, projeto de execução (BDM, 2017).....	117
Figura 135 – Secção transversal do canal, projeto de execução (BDM, 2017).....	118
Figura 136 – Secção tipo de betão armado, projeto de execução (BDM, 2017)	118
Figura 137 – Secção longitudinal da via rodoviária, projeto de execução (BDM, 2017) .	119
Figura 138 – Secção longitudinal do canal de betão armado com sistema de fixação ao terreno, projeto de execução (BDM, 2017)	119
Figura 139 – Secção longitudinal da escada hidráulica, projeto de execução (BDM, 2017)	120
Figura 140 – Planta de proteção ambiental, projeto de execução (BDM, 2017).....	121
Figura 141 - Localização da recolha de amostra (Google Earth, 2018)	122
Figura 142 – Esquartelamento da amostra	123
Figura 143 - Material na estufa	124
Figura 144 – Série de peneiros para a peneiração da fração grossa	125
Figura 145 – Curvas granulométricas das amostras da ravina 3 e ravina 5.....	127
Figura 146 - Triângulo de Feret, com as designações do solo em conformidade com a curva granulométrica (Matos Fernandes, 1994)	128
Figura 147 - Preparação do solo para a determinação da densidade das partículas	129
Figura 148 – Repouso da mistura.....	129
Figura 149 – Alteração do estado em função da variação do teor em água (P. Sousa, 2011)	130
Figura 150 – Abertura de sulco com aproximadamente 1 cm.....	131
Figura 151 – Realização do filamento cilíndrico.....	131
Figura 152 - Gráfico com a reta de regressão linear relativa ao limite de liquidez para a ravina 3	132
Figura 153 - Gráfico com a reta de regressão linear relativa ao limite de liquidez para a ravina 5	132

Figura 154 - Caixa de corte do ensaio de corte direto (Marangon, 2009).....	133
Figura 155 – Equipamento para ensaio de corte direto	134
Figura 156 – Molde cilíndrico do ensaio de Proctor normal com o solo compactado	135
Figura 157 – Representação gráfica da tensão de corte em função do deslocamento horizontal (Marangon, 2009)	137
Figura 158 – Representação gráfica do deslocamento vertical em função da alteração de volume (Marangon, 2009)	137
Figura 159 - Provete de solo.....	137
Figura 160 - Deslocamento horizontal, ravina 3	138
Figura 161 - Deslocamento horizontal, ravina 5	138
Figura 162 - Tensão de corte máxima versus tensão normal para a amostra ravina 3	139
Figura 163 - Tensão de corte máxima versus tensão normal para a amostra ravina 5	139
Figura 164 – Esquema de um tanque de sedimentação (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)	140
Figura 165 - Esquema do sistema do ensaio para a medição de erosão	141
Figura 166 – Caixa com geotêxtil, para simulação da superfície do ensaio de erosão	143
Figura 167 – Impacto das gotas de água na superfície do solo de ensaio	144
Figura 168 – Solo transportado durante o ensaio	145
Figura 169 – Desagregação de solo numa primeira etapa	146
Figura 170 – Desagregação de solo 6 segundos depois	147
Figura 171 – Classificação dos solos segundo ASSHTO.....	149
Figura 172 - Simulação em SLOPE, para os valores considerados no projecto de execução	152
Figura 173 - Simulação em SLOPE, para os valores obtidos nos ensaios laboratoriais ...	152
Figura 174 – Ficha de monitorização geotécnica (BDM, 2017)	154
Figura 175 – O processo de erosão afeta as infraestruturas rodoviárias e as telecomunicações (BDM, 2016)	159
Figura 176 – Vista montante da ravina. Devido à falta de recolha de resíduos sólidos, a população despeja sobre a ravina resíduos domésticos (BDM, 2016)	160
Figura 177 – Implementação de medida de emergência a montante da ravina (BDM, 2017)	160

Figura 178 – Implementação de medida de emergência a jusante da ravina (BDM, 2017)	160
Figura 179 – As fundações da unidade familiar visíveis (BDM, 2017)	161
Figura 180 – Vista a montante da ravina (BDM, 2017)	161
Figura 181 – Vista aérea da ravina (BDM, 2017)	161
Figura 182 – Execução da escada hidráulica (BDM, 2018)	162
Figura 183 – Execução de aterro dos taludes e proteção superficial com lona (BDM, 2018)	162
Figura 184 – Vista geral a jusante (BDM, 2018)	162
Figura 185 – Enquadramento da escada hidráulica com recomposição do talude (BDM, 2018)	163
Figura 186 – Vista geral a jusante (BDM, 2018)	163
Figura 187 – Vista geral de jusante para montante (BDM, 2018)	163
Figura 188 – Vista aérea da área de intervenção (BDM, 2018)	164
Figura 189 – Vista geral (BDM, 2018)	164
Figura 190 – Processo de sementeira com cobertura vegetal (BDM, 2018)	164
Figura 191 – Vista para montante com escada hidráulica em betão armado e proteção do talude com cobertura vegetal (BDM, 2018)	165
Figura 192 – Execução do canal a jusante até ligação ao canal de macro-drenagem (BDM, 2018)	165
Figura 193 – Mapa SIG de erosão do solo (Mitasova e Mitas, 1997)	167
Figura 194 – Gráfico custo/tempo	168
Figura 195 - Modelo digital 3D	169
Figura 196 – Modelo digital 3D em nuvem de pontos	169
Figura 197 – Modelo digital 3D em nuvem de pontos, mais próximo	170
Figura 198 – Organograma de análise de risco	170
Figura 199 – Orthofoto com estradas principais	172
Figura 200 - Mapa de cadastro de vias e unidades habitacionais	173
Figura 201 – Mapa do fator erosividade (R)	174
Figura 202 – Mapa do fator erodibilidade (K)	175
Figura 203 – Mapa do fator topográfico (LS)	176
Figura 204 – Mapa do fator coberto vegetal (C)	177

Figura 205 – Mapa do fator de práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão (P) ...	178
Figura 206 – Mapa do fator infraestruturas (I)	179
Figura 207 – Mapa do fator pontos confluência de águas superficiais (T)	180
Figura 208 – Mapa de suscetibilidade à erosão	181

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Respostas geodinâmicas de encosta (Troeh, 1965)	5
Tabela 2 – Classificação dos fatores dos movimentos de massa (Varnes, 1978).....	12
Tabela 3 – Morfologia do sistema radicular (Fiori e Carmignani, 2009).....	13
Tabela 4 – Factores fisiográficos de uma bacia hidrográfica (Baseada em A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)	17
Tabela 5 – Coeficiente de escoamento para áreas agrícolas (Ven & Chow, 1964).....	22
Tabela 6 – Valores do fator de práticas de conservação para a EUPS (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984).....	45
Tabela 7 – Família de medidas de emergência.....	47
Tabela 8 – Vantagens e desvantagens da técnica de sementeira (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	61
Tabela 9 – Vantagens e desvantagens da técnica de hidrossementeira (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)	62
Tabela 10 – Vantagens e desvantagens da técnica de estacaria viva (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	64
Tabela 11 – Vantagens e desvantagens da técnica de fascina viva (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	65
Tabela 12 – Vantagens e desvantagens da técnica de entrançados vivos (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)	67
Tabela 13 – Vantagens e desvantagens da técnica de esteira de ramagem (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	68
Tabela 14 – Vantagens e desvantagens da técnica de leito de vegetação ou de ramagens (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)	70
Tabela 15 – Vantagens e desvantagens da técnica de leito de vegetação ou de ramagens (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).	71
Tabela 16 – Vantagens e desvantagens da técnica de terra reforçada (João P. Fernandes e Aldo R. M. Freitas, 2011).....	73
Tabela 17 – Vantagens e desvantagens da técnica de grade viva (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).....	75

Tabela 18 – Vantagens e desvantagens da técnica de geotêxteis e geomalhas vivas (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)	77
Tabela 19 – Vantagens e desvantagens da técnica de barreiras de contenção de solo (adaptado Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)	78
Tabela 20 – Características do trecho ativo da ravina 3 (BDM, 2017)	102
Tabela 21 – Coordenadas da recolha de amostra	123
Tabela 22 – Valores médios do teor em água natural das duas amostras de solo, ravinas 3 e 5	124
Tabela 23 - Quadro resumo da densidade média das partículas.....	129
Tabela 24 – Classificação de Atterberg baseada no comportamento plástico dos solos (Folque, 1991)	131
Tabela 25 - Determinação da altura de queda de forma a obter o grau de compactidade semelhante ao existente no local	134
Tabela 26 - Cálculos do volume do molde utilizado	135
Tabela 27 - Determinação da massa volúmica da amostra da ravina 5, no estado solto e compactado.....	135
Tabela 28 - Determinação do massa volúmica da amostra da ravina 3, no estado solto e compactado.....	135
Tabela 29 - Quadro resumo de teor em água para ensaio o ensaio de corte direto	136
Tabela 30 – Valores da erosão do solo (Dunne, 1978).....	140
Tabela 31 - Valores medidos referentes ao esquema do sistema do ensaio para a medição de erosão.....	141
Tabela 32 – Cálculos de valor precipitação de chuva	142
Tabela 33 - Comparação do teor em água natural com o teor em água utilizado no ensaio de erosão.....	143
Tabela 34 - Massa inicial do provete e do balde de recolha de solo	144
Tabela 35 - Massas após o ensaio.....	144
Tabela 36 - Valores obtidos para cálculo da perda de solo (K).....	145
Tabela 37 - Valores de referência para perdas de solo por erosão (Bastos, 1999).....	145
Tabela 38 - Comparação dos resultados obtidos com os valores de referência	146
Tabela 39 - Quadro resumo do ensaio limites de consistência.....	148
Tabela 40 - Quadro resumo dos parâmetros p, a, b, c e d para determinação do IG	148

Tabela 41 - Índice de grupo relativo a cada amostra.....	149
Tabela 42 – Classificação de solos (ASTM D 2487)	150
Tabela 43 - Valores usados no projecto de execução <i>versus</i> valores obtidos nos ensaios laboratoriais	152

Lista de abreviaturas e siglas

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ASTM – American Society for Testing and Materials

BDM – BDM, engenharia e tecnologia

cm – Centímetros

DGRAH – Direção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos

Dr. – Doutor

E – Energia

EN – Norma europeia

Engº – Engenheiro

EUA – Estados Unidos da América

EUPS – Equação Universal de Perda de Solo

GPS – Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global

h – hora

ha – Hectare

I – Intensidade

IG – Índice de grupo

INAMET – Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Angola

IP – Índice de plasticidade

km – Quilómetros

KW - Quilowatt

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LL – Limite de liquidez

LP – Limite de plasticidade

LR – Limite de retração

m.c.a – Metro de Coluna de Água

mm – Milímetro

MJ - Megajoule

MPa – Mega Pascal

NP – Norma Portuguesa

NWS – National Weather Service

PDM – Plano Diretor Municipal

PROENGE – PROENGE, engenharia de projectos

REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado

RTP – Radio Televisão Portuguesa

S – Sul

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SPT – Standard Penetration Test

SW – Sudoestes

t – Tonelada

USLE – Universal Soil Loss Equation

UTM – Universal Transversa de Mercator

VANT – Voo Aéreo Não Tripulado

Lista de símbolos

g – Aceleração da gravidade

Φ – Ângulo de atrito

Φ_u – Ângulo de atrito do solo saturado

c' – Coesão

c_u – Coesão do solo em estado saturado

s – Declive

G – Densidade das partículas

λ – Distância percorrida pelo escoamento superficial

F_{24} – Fator de concentração da precipitação máxima diária

C_j – Percentagem da área coberta

γ – Peso Volúmico

γ_d – Peso Volúmico seco

γ_w – Peso Volúmico do fluído

μ – Pressão intersticial

MR – Precipitação média de um período outubro-maio

MV – Precipitação média de um período junho-setembro

$PMEX$ – Precipitação média da máxima mensal de cada ano de uma série

C_j – Proporção do fator energético da chuva

W_{ot} – Teor em água ótimo

τ – Tensão de tangencial

σ – Tensão Normal

τ_{max} – Tensão tangencial máxima

$\tau_{\text{mobilizadora}}$ — Tensão mobilizadora

τ_{res} — Tensão tangencial residual

$\tau_{\text{resistente}}$ — Tensão resistente

v - Velocidade de sedimentação

η - Viscosidade do fluido

1. Introdução

Ao falar de erosão é impossível não pensar nos impactes negativos resultantes deste fenómeno. Além de um grande impacte visual, existem sempre consequências a nível social, muito negativas para a população local.

Na abordagem ao tratamento deste fenómeno a engenharia assume um lugar de destaque, uma vez que pode estabelecer a relação entre a melhor solução técnica e o seu impacte económico. Juntando estas duas premissas pode obter-se a melhor solução a aplicar a cada situação.

Há vários fatores responsáveis pela erosão dos solos, pode-se considerar fatores de origem natural e de origem humana. De modo a obter a melhor solução para o tratamento deve realizar-se um estudo exaustivo, tanto dos parâmetros do material que sofreu erosão, como das características dos fatores que a causaram. Nenhum dos parâmetros deve ser negligenciado ou eliminado, uma vez que pode inviabilizar ou tornar inadequada a solução proposta.

O solo tem um papel fundamental na ocorrência da erosão por isso, deve ser a base do estudo a realizar. Além deste, deve ser considerada a proteção do talude que responderá, em primeiro lugar, à ação dos agentes externos e a geometria.

Os agentes responsáveis pela erosão podem ser de origem natural, incluem a água e o vento que podem ser subdivididos por intensidade e tempo de ocorrência, ou de origem humana. A construção de estradas e de linhas férreas, a desmatção descontrolada, a desflorestação, a construção em áreas de risco e os caminhos pedestres, são exemplos de fatores favoráveis à ocorrência de erosão.

A melhor opção é a prevenção, pois ao detetar-se o problema e proceder-se ao tratamento, em fase inicial, o custo de intervenção será menor. A análise custo/tempo e custo/benefício da intervenção deve ser uma ferramenta de destaque no planeamento e no plano de prevenção de áreas degradadas. A elaboração de cartas de risco, como resultado da análise de pontos favoráveis à ocorrência de erosão dos solos, é de extrema importância, pois serve de auxílio ao planeamento e prevenção para futuros planos urbanísticos e de ocupação do solo.

1.1.Objetivos

Abordar a erosão dos solos em Angola no que respeita aos fatores intervenientes neste fenómeno natural de grande impacte social, as possíveis soluções de tratamento e a prevenção.

Identificar e caracterizar os vários fatores, naturais ou resultantes da atividade humana, responsáveis pelo processo erosivo.

Apresentar proposta para o tratamento das ravinas, precedida pela descrição e análise das técnicas existentes de forma a selecionar a solução mais favorável numa perspetiva técnica e económica.

Apresentar proposta para prevenção, através da identificação dos pontos críticos, de forma a ser possível acompanhar o processo erosivo em fase inicial.

1.2.Enquadramento histórico

No âmbito da visita de campo realizada, em 1946, pelos Eng.^{os} J. Botelho da Costa e Ário L. Azevedo, surge, em 1947, a primeira abordagem sobre a temática da erosão dos solos, pela forma de um estudo designado por “Aspectos da Erosão do Solo em Angola”, em que é abordado o tema da erosão, de acordo com as suas características.

Em 1950, o Eng.^o Jorge M. Bandeira Duarte, na publicação “A Acção das Derrubas Florestais e das Queimadas na Degradação do Solo Angolano”, inicia uma abordagem ao tema da erosão, apontando as ações do homem como responsáveis pela origem da erosão do solo.

Em 1957, o Dr. Armando Salbany, escreveu o ensaio “As Estradas e Caminhos-de-ferro e Os Problemas de Erosão”, que aborda o tema de forma profunda no que respeita às consequências da implantação de vias sem um estudo dos impactes que delas poderiam resultar. Esse documento pretende alertar consciências e estimular uma abordagem séria do tema.

No mesmo ano, surge a “Classificação dos Solos de Angola”, onde os engenheiros J. Botelho da Costa e Ário L. Azevedo classificam os solos de Angola, no âmbito de uma missão de

pedologia em Angola. Como resultado desta visita, definiram-se princípios e premissas que serviram de base à classificação e cartografia de solos de Angola.

Os estudos, anteriormente referidos, deram origem a muitos outros, de que são exemplos a Carta Geral dos Solos de Angola, 1985, reeditado em 1992 pelo Centro de Estudos de Pedologia, “Características Mesológicas de Angola”, de 1973, do Eng.º Alberto Castanheira Diniz, entre outros.

Por último, o Prof. Augusto Manuel Sardinha, um dos grandes engenheiros dos anos 50, projetou e executou cerca de catorze barragens para correção torrencial, com o objetivo de diminuir a força da corrente e permitir que o solo se depositasse. Em entrevista à revista INGENIUM, de junho de 2011, relata e destaca a solução de arborização de Porto Alexandre, hoje Tombwa, que evitou o avanço das areias sobre a cidade.

Atualmente, outros profissionais traçam os mesmos objetivos com base no legado da experiência e sabedoria dos autores referidos, e com o mesmo propósito: a minimização dos impactes da erosão em Angola.

2. Taludes e tipos de erosão

2.1. Tipos de taludes

Talude é o nome dado a uma construção feita pelo Homem, que pode ser genericamente enquadrada em obras de aterro ou de corte. Um talude define-se como uma superfície de terreno em plano inclinado, que tem como objetivo a alteração da morfologia do terreno existente com um objetivo específico. Como exemplo de obras de aterro existem as barragens, resultado de uma movimentação de terras cujos limites formam taludes, e têm como função o armazenamento de água. Esses taludes são sujeitos a condições resultantes de agentes naturais ou de causas resultantes da ação do homem que podem acelerar o processo de desgaste, denominado erosão. Por outro lado, existem os taludes resultantes de corte de que são exemplo, a implantação de vias rodoviárias, em que são necessários grandes cortes em maciços (solos ou rochas), salvaguardando um tratamento aos taludes, de modo a evitar o processo erosivo nestes pontos críticos.

As técnicas e os procedimentos de execução no que se refere à altura máxima do talude, à inclinação e às banquetas devem ser adequados às condições do projeto. Todos estes fatores dependem das propriedades físicas e mecânicas dos materiais e das condições de serviço.

Na Figura 1 pode ser observado o exemplo de um talude de uma obra rodoviária, constituído por banquetas e com proteção superficial.



Figura 1 – Talude de rodovia com banquetas (Gestão Ambiental, 2016)

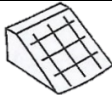

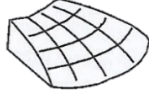


Os aterros, em grande parte das obras rodoviárias, encerram um grau de incerteza associado às propriedades dos solos e à sua capacidade como fundação. Por outro lado, existem os cortes pela necessidade de garantir as inclinações máximas permitidas para a via, de acordo com a regulamentação e as normas existentes para este tipo de projeto.

Pode-se considerar que o talude é a linha de transição entre a forma natural do terreno e a intervenção provocada pelo Homem. Caso essa linha não seja traçada de forma correta, poderão resultar consequências negativas.

Os taludes naturais podem ser designados como encostas. Estas vão evoluindo dinamicamente e respondendo às agressões dos agentes exteriores.

As encostas são classificadas quanto ao comportamento perante os agentes de erosão. Caracterizam-se quanto à sua superfície como plana, convexa ou côncava e quanto à sua condição drenante como coletora ou difusora. Na Tabela 1 apresenta-se uma classificação proposta por Troeh, 1965.

Tabela 1 – Respostas geodinâmicas de encosta (Troeh, 1965)

Tipo de Talude	Superfícies	Condição da encosta com relação à água superficial
	Plana	—
	Convexa	Coletora
		Difusora
	Concava	Coletora
		Difusora

Outro aspeto importante é a constituição, os taludes naturais podem ter origem em solos residuais, transportados ou em rocha.

É muito comum, em Angola, observar-se encostas em processos de erosão, que são, anualmente, referidas nos meios de comunicação. Mesmo sendo naturais, estes fenómenos ocorrem quando existe uma alteração do estado de tensão no solo e a tensão de corte desenvolvida torna-se igual ou superior à resistência ao corte do solo.

O exemplo a que se refere a Figura 2 é uma notícia publicada em 2011 num jornal e diz respeito às ravinas da província do Bié, cidade do Kuito, “ravinas de grande proporção no Bié ameaçam engolir cidade do Kuito”.



No Bié, as ravinas de grande proporção, algumas das quais com mais de nove metros de comprimento, ameaçam engolir a cidade do Kuito, podendo mesmo vir a desalojar milhares de famílias.

Mais de nove ravinas, com sete a oito metros de profundidades, progridem em diversas direcções da cidade do Kuito.

Preocupado com esta situação, está a direcção do Bié, das obras públicas que se desdobra em esforços, devido a progressão das ravinas que estão a ameaçar desalojar enumeras famílias da zona no Kuito.

O Director do Bié das obras públicas, José Chatuvela, disse que a situação é preocupante mas o seu sector, não encontra mecanismos locais de se ultrapassar o problema que exige atenção especial das autoridades centrais.

Figura 2 – Notícia publicada no Jornal (AngloNoticias, 2011)

A instabilidade é uma consequência natural e dinâmica da própria evolução. Ao proporcionarem-se condições para o desenvolvimento dos processos físicos e químicos nos materiais geológicos, ocorre um enfraquecimento da sua estrutura e a consequente redução das propriedades mecânicas, o que pode dar origem à rotura nos pontos mais críticos ou enfraquecidos.

Na Figura 3 pode ver-se uma imagem do Miradouro da Lua, publicada pela RTP em 1993, e pode ser observado o avanço da erosão natural da encosta.



Figura 3 – Miradouro da Lua, Angola (RTP.pt, 1993)

2.2. Tipos de erosão — movimentos de massa

A erosão é um processo resultante da ação de fatores externos sobre um objeto. Grande parte dos processos erosivos é consequência da ação humana, nomeadamente desmatamentos, construção de vias rodoviárias, instalação de sistemas de drenagem, entre outros procedimentos que contribuem para o processo de erosão. Ao provocar-se um desequilíbrio ambiental, o resultado é o movimento de camadas superficiais — designado por erosão laminar ou por sulcos.

Outro tipo de erosão é o que resulta da evolução natural, que ocorre junto à orla costeira, onde existe um processo dinâmico por ação do vento, da variação da humidade, da ação mecânica da ondulação marítima e da presença de sais que altera as condições de estabilidade, podendo colocar em risco as populações residentes nesse local.

Na Figura 4, é visível a erosão junto à orla costeira. Como se pode observar na imagem, essa erosão pode causar impactes sociais.



Figura 4 – Encosta da Samba, Luanda (BDM, 2018)

O processo erosivo, por ação hídrica, pode incluir a erosão laminar ou em toalha, o desenvolvimento de canais por escoamento subsuperficial (tubulação ou piping) e a formação de canais superficiais designados por sulcos ou ravinas, em função da sua dimensão. O ravinamento é dos tipos de erosão de natureza hídrica o que apresenta maior variabilidade no que se refere à dimensão, às formas e ao desenvolvimento ao longo do tempo. As ravinas são controladas por processos hídricos e gravitacionais, cuja importância relativa pode variar ao longo do tempo e conduzir à instabilidade estrutural e a desmoronamentos. Este processo desenvolve-se em função da energia exercida pelo escoamento. Começa por se formar sulcos quando é ultrapassado o limite admissível de tensão tangencial exercida pelo fluxo de água e estes vão crescendo com o aumento desta tensão dando origem a ravinas.

Perante um caso de erosão, são necessárias medidas de contenção definitivas ou provisórias, com o objetivo de proteger as vidas humanas ou de evitar o impacto na mobilidade. No entanto, muitas destas medidas tornam-se infrutíferas a médio e a longo prazo.

Como já foi referido, um agente muito importante na aceleração do processo de erosão é a água pluvial, sendo aspetos fundamentais a intensidade e o tempo de duração das chuvas. Quando ocorre a infiltração da água no solo, dá-se a redução da resistência do talude, processo que pode originar o escorregamento, por erosão interna ou por excesso de pressão da água nos vazios.

Ao existir circulação de água dentro do maciço, ocorre a erosão interna, com transporte de partículas e formação de depósitos de sedimentos submersos nas zonas onde a água sai para o exterior.

Na Figura 5, é apresentado o avanço do processo erosivo por influência da circulação da água no maciço. Na primeira ilustração por influência da chuva, ocorre a redução da coesão do maciço, sendo visível a presença de água no pé do talude. Na ilustração 2 e na 3, observa-se a queda de material do talude e aglomeração do mesmo no pé do talude. A última ilustração representa a continuidade deste ciclo.

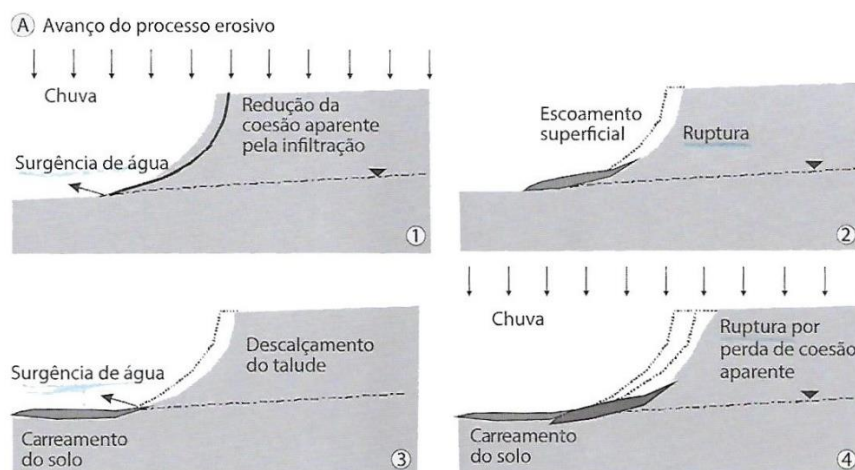


Figura 5 – Esquema da evolução da ravina (Futai; Almeida; Lacerda, 2005)

Com base na Figura 6, Futai, Almeida e Lacerda (2005) defendem que após um período de chuva, seguido de um tempo de seca, existe uma recuperação da resistência estrutural do talude, embora, nunca chegue a recuperar o seu estado inicial. Ao decorrer um novo ciclo de chuva, ocorre uma nova diminuição da resistência estrutural, dando lugar a novos escorregamentos. Nesse sentido, pode ser observada a variação do fator de segurança no decurso dos dias.

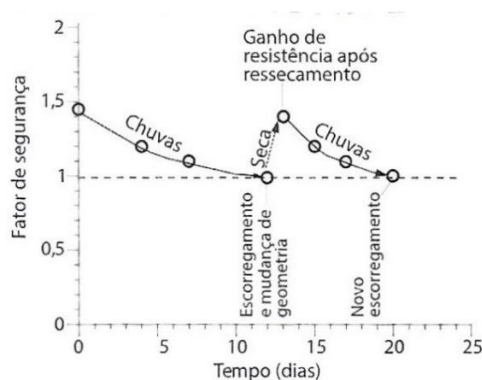


Figura 6 – Variação do fator de segurança com o tempo (Futai; Almeida; Lacerda, 2005)

2.2.1. Escorregamentos

Os escorregamentos podem ser definidos como um movimento rápido de uma grande quantidade de massa do solo, que sofre uma rotura pela superfície de corte, ou seja, quando a capacidade de resistência é inferior à tensão mobilizada.

Na Figura 7 estão apresentados os elementos que caracterizam a massa deslocada num talude que sofre rotura.

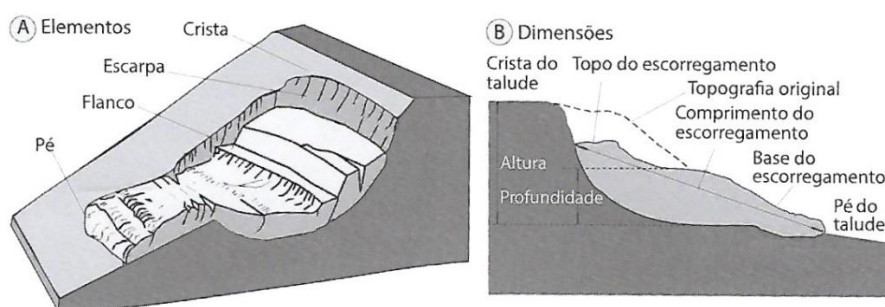


Figura 7 – Elementos que caracterizam a massa deslocada (ABNT, 2008)

Ao abordar-se este paradigma, em Angola, é fácil encontrar exemplos de escorregamentos e em todos existe um impacte muito grande, quer a nível social, quer a nível de mobilidade.

A presença de resíduos sólidos urbanos nas encostas é visível e proveniente da população residente junto a estes locais. Este fator facilita a rotura por corte uma vez que o solo residual tem presença de matéria orgânica.

Na Figura 8, pode observar-se uma imagem da Encosta da Samba, em Luanda, onde a presença de resíduos sólidos urbanos é abundante sendo fator que facilita a rotura.



Figura 8 – Ocupação do solo em área de risco Encosta da Samba, Luanda (BDM, 2018)

As superfícies de rotura podem ser classificadas quanto à forma, como planares, circulares, em cunha, e em combinação de formas ou mistas.

A rotura de forma plana é caracterizada por um plano de espessura variável de solo, residual ou transportado, que está depositado sobre um estrato mais resistente ou uma rocha. Deste modo, a ligação entre estratos é menos resistente e por isso permite, facilmente, a rotura.

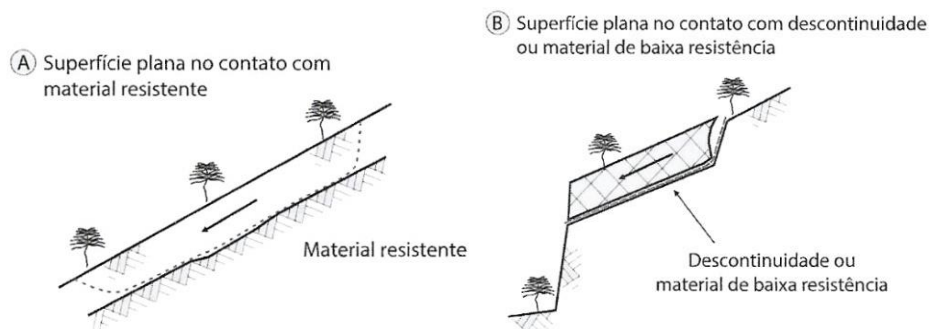


Figura 9 – Rotura por translação (Denise M. S. Gerscovich. 2013)

A rotura por movimento rotacional é caracterizada como movimento de uma massa de grande dimensão em forma de concha. Este fenómeno afeta, normalmente, uma grande área.

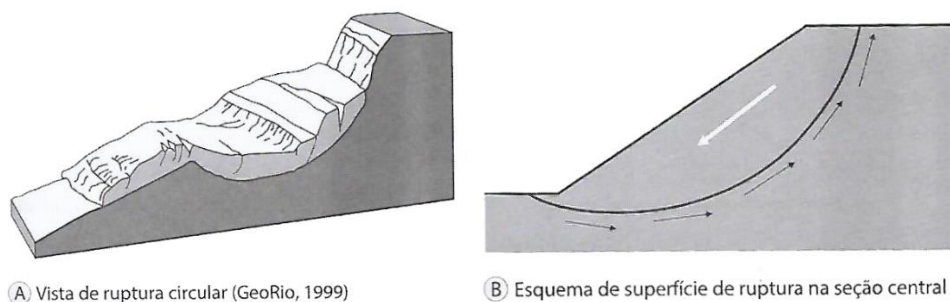


Figura 10 – Rotura circular. (GeoRio, 1999)

Os escorregamentos rotacionais podem ser simples ou múltiplos, estes apresentam mais do que uma superfície de rotura.

Por fim, os escorregamentos mistos são geralmente caracterizados pela presença de material não homogêneo, ou seja, pela descontinuidade de material com características ou resistências diferentes.

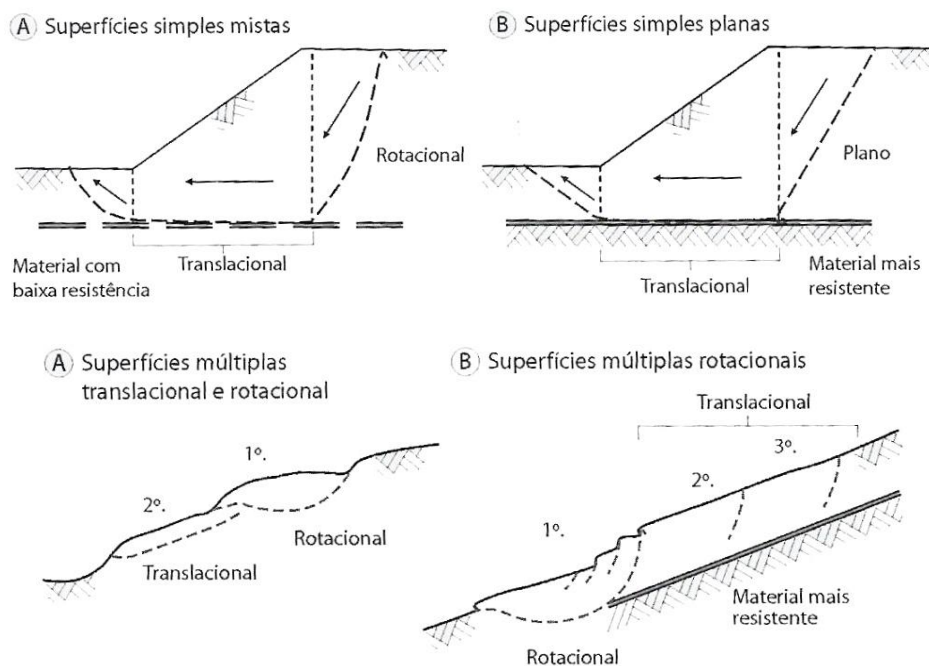


Figura 11 – Rotura mista (Denise M. S. Gerscovich, 2013)

2.2.2. Causas gerais dos escorregamentos

O fator de segurança para um talude, no que respeita à rotura por corte, permite determinar a relação entre a capacidade resistente do material e o esforço de corte que sobre ele se exerce. Este fator deve ser superior à unidade de forma a garantir a segurança ao deslizamento.

$$\text{Fator de Segurança} = \frac{\tau_{resistente}}{\tau_{mobilizadora}} > 1 \quad (2.1)$$

Dois fatores importantes para a verificação da segurança de uma estrutura em forma de talude, são o aumento das solicitações e a redução da resistência ao corte. Varnes (1978) propõe uma classificação em que relaciona as ações com os fatores envolvidos e os fenómenos que deles resultam. Na Tabela 2, apresenta-se a classificação dos fatores envolvidos nos movimentos de massa.

De uma forma geral, pode identificar-se as principais razões para o aumento das tensões de corte mobilizadoras dos movimentos dos taludes:

- execução de cortes de forma incorreta, altura excessiva e inclinação insuficiente;
- execução de aterros com geometria, compactação ou fundação deficiente;
- fatores humanos, como presença de resíduos sólidos urbanos e maus hábitos de rotina.

Por outro lado, tem-se os fatores que dão origem à redução da resistência:

- remoção da cobertura vegetal;
- presença de linhas de água ou lançamento de drenagens de forma descontrolada;
- ocupação do solo em áreas inadequadas.

Tabela 2 – Classificação dos fatores dos movimentos de massa (Varnes, 1978)

Ação	Fatores	Fenómenos Geológicos/Antrópicos
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão. Escorregamentos. Cortes.
	Sobrecarga	Peso da água de chuva, neve, granizo, etc. Acumulação natural de material (depósitos). Peso da vegetação. Construção de estruturas, aterros, etc.
	Solicitações dinâmicas	Terramotos, ondas, vulcões, etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos.
	Pressões laterais	Água em sulcos e fissuras. Congelamento. Material expansivo.
Redução da Resistência ao corte	Caraterísticas inerentes ao material (geometria, estruturas etc.).	Características geomecânicas do material.
	Mudanças ou fatores variáveis	Ação do intemperismo provoca alterações físico-químicas nos minerais originais, causando quebra das ligações e gerando novos minerais com menor resistência. Processos de deformação provenientes de variações cíclicas de saturação e secagem, reduzindo a resistência. Variação da pressão nos poros: elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural do fluxo (construção de reservatórios, processos de urbanização, etc.). Infiltração de água em meios não saturados origina redução de pressões de água negativas (sucção). Fluxo preferencial através de juntas, acelerando os processos de infiltração.






2.2.3. Influência da vegetação

Um dos aspetos mais importantes no controlo e proteção de taludes é a presença de vegetação. A resistência superficial e o impacto da precipitação podem ser salvaguardados quando existe a presença de vegetação no talude. Outro aspeto é a presença de espécies arbóreas que servem de amortecedor à precipitação e geram matéria orgânica que é fornecida ao solo nas suas imediações.

Característica importante, no estudo para seleção de espécies vegetais a aplicar para a proteção de taludes, é a configuração da raiz, pois ela pode fornecer ao solo uma resistência adicional, como se tratasse de uma armadura.

Na Tabela 3, é apresentado, segundo Fiori e Carmignani (2009), um estudo da morfologia do sistema radicular das plantas.

Tabela 3 – Morfologia do sistema radicular (Fiori e Carmignani, 2009)

Tipo	Caraterísticas	Função
	Tipo H: mais de 80 % das raízes desenvolvem-se até uma profundidade de cerca de 60 cm, muitas estendem-se horizontalmente.	Indicadas para a estabilização do talude.
	Tipo V-H: o desenvolvimento máximo dá-se a profundidades maiores, mas a maioria situa-se até 60 cm de profundidade; a raiz central é mais forte e as laterais crescem horizontalmente, com comprimentos longos.	
	Tipo R: o desenvolvimento máximo atinge grandes profundidades e somente 20 % se situam nos 60 cm iniciais; muitas raízes estendem-se obliquamente e são de longa extensão.	
	Tipo V: semelhante ao tipo V-H, mas as raízes são horizontais e curtas.	Benéficas para resistir ao vento.
	Tipo M: mais de 80 % das raízes ocorre na faixa dos 30 cm de profundidade, com extensão lateral pequena.	Aumento da resistência superficial do talude.

O solo pode aumentar a resistência à erosão superficial, se existir peso sobre a sua superfície. Um exemplo é o caso, em Cabinda, Figura 12, onde a presença de um bloco de rocha evitou a erosão hídrica devido ao aumento de resistência.



Figura 12 – Aumento de resistência do solo por influência de sobrecarga, Cabinda

2.3. Agentes erosivos

2.3.1. Ação hidrológica

A melhor forma de abordar a hidrologia é analisar o ciclo hidrológico de Horton, criado de forma gráfica e contendo as informações de um sistema complexo sem início nem fim. Segundo Armando Lencastre e F. M. Franco, o ciclo hidrológico pode ser explicado usando, como referência, a atmosfera como início do ciclo «...aí se acumula o vapor de água que, em certas condições, dá origem à precipitação: chuva, granizo, neve, orvalho e geada. Parte da precipitação é evaporada durante a queda, voltando à atmosfera. Outra parte é interceptada pelas folhas das plantas e pelos telhados, sendo evaporada e voltando também à atmosfera. A parte mais significativa atinge a superfície da terra» (Lencastre & Franco, 1984).

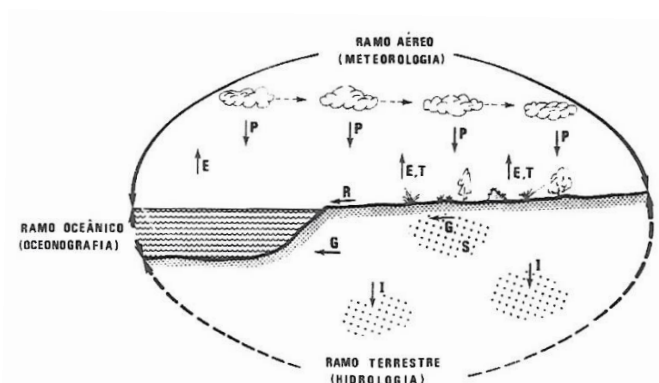


Figura 13 – Ciclo hidrológico (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

Onde:

- P – Precipitação;
- E – Evaporação;
- T – Transpiração;
- I – Infiltração;
- S – Armazenamento de água;
- R – Escoamento superficial;
- G – Escoamento subterrâneo.

O tratamento das águas superficiais é fundamental no que respeita à engenharia civil. É necessário o tratamento das águas pluviais através da construção de meios recetores para captação das águas, canais ou galerias para encaminhamento das águas e dispositivos de descarga para um meio natural, como, por exemplo, para a linha de água. Só deste modo é efetuado o tratamento de encaminhamento das águas, minimizando os impactes negativos das estruturas edificadas pelo homem. No entanto, esta solução não é a ideal para o meio natural, mas sim como um meio de recurso e de salvaguarda, embora existam métodos para a diminuição desse impacte na natureza.

2.3.1.1. Bacia Hidrográfica

Pode definir-se bacia hidrográfica como «uma área topograficamente delimitada, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída» (Lencastre & Franco, 1984).

Em cartas topográficas de grande escala, como, por exemplo, as cartas militares 1:25 000, é possível extrair informações como limites de bacias ou pontos de confluência de linhas de água. Unindo os pontos de cume do terreno natural ou os pontos baixos de confluência de águas, obtém-se informações designadas por limite de bacia hidrográfica e linhas de água ou talvegues, como pode ser observado na Figura 14.

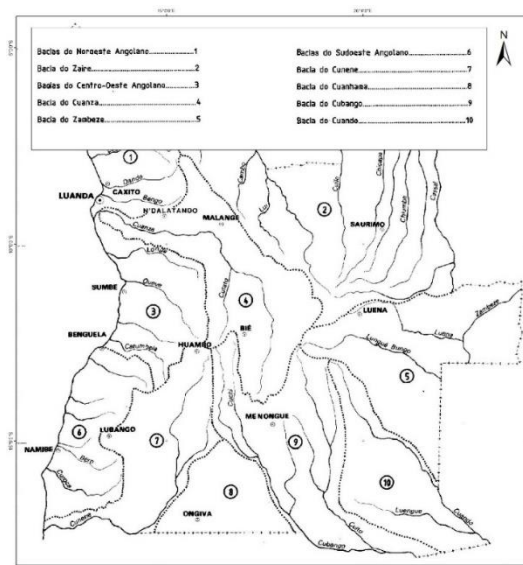


Figura 14 – Bacias Hidrográficas de Angola (A. C. Diniz, 1973)

A precipitação que cai numa bacia hidrográfica desloca-se do ponto mais alto até ao ponto mais baixo, por escoamento superficial, até formar uma linha de água de secção considerável, designada rio ou ribeiro. A linha de água pode ser caracterizada pela sua ordem, ou seja, 1.^a ordem – linhas de água principais, 2.^a, 3.^a, etc. – linhas de água de confluência ou secundárias, Figura 15.

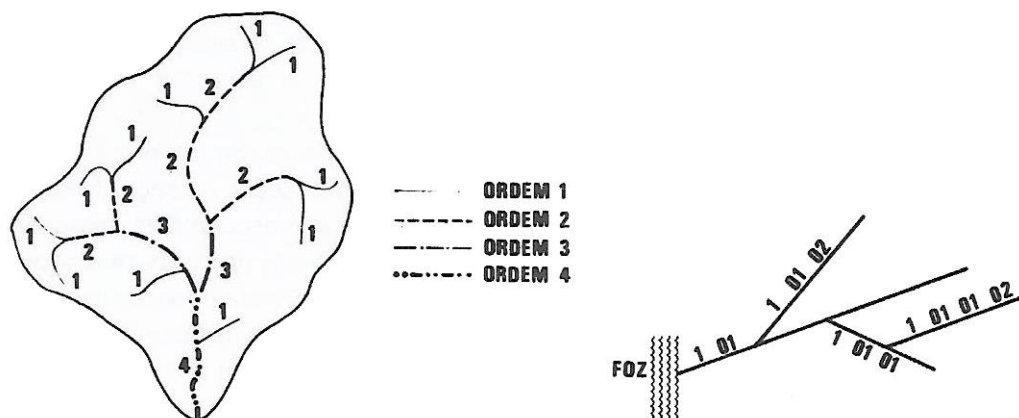


Figura 15 – Classificação dos rios segundo Strahler, 1952 (esquerda) e DGRAH, 1981 (direita)

No estudo hidrológico, as características de uma bacia são de extrema importância, uma vez que identificam e caracterizam o comportamento das águas, desde o seu ponto de queda e mais distante, até ao ponto mais baixo e de descarga. Os fatores fisiográficos a ter em conta no estudo das bacias são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Factores fisiográficos de uma bacia hidrográfica (Baseada em A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

Fatores fisiográficos	Descrição
Geometria	Área de drenagem – Área plana limitada pelas linhas de separação topográfica (cume), em hectares. Forma – Descrição qualitativa, por exemplo, bacia alongada, ramificada, etc. Fator de forma – Relação entre largura e comprimento.
Sistema de drenagem	Perenes – Escoam água todo o ano, existe uma alimentação do lençol subterrâneo, ao curso de água, deste modo mantém o curso durante as secas mais severas. Intermitentes – Escoam durante as estações húmidas e secam nas de estiagem. Efémeros – Existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial.
Relevo	Curva hipsométrica – Representa a área da bacia, que fica acima de cada cota Z. Altitude média – Altitude média da bacia (em relação ao nível do mar). Altura média – Altitude média da bacia (em relação ao perfil em estudo). Perfil longitudinal do curso de água – Relaciona as cotas e a distância ao ponto de descarga. Inclinação média do leito – Obtém-se dividindo a diferença em cota de duas secções pela distância entre elas. Declividade dos terrenos – Indicação do percentual de inclinação em cada ponto do terreno; mapa de declives. Índice de declive de Roche – Índice de declive médio para toda a bacia, entre a cota mais elevada e a mais baixa.
Geologia e solos	Existe uma relação estreita entre a constituição geológica de uma bacia hidrográfica e o tipo de solos dela resultante com a distribuição e o movimento da água nessa mesma bacia. Assim, a maior ou menor velocidade de escoamento superficial, resultante das características de solo, condiciona a grandeza das pontas de cheia na rede fluvial e os fenómenos de erosão na bacia.
Vegetação	A análise do tipo de vegetação é muito importante para o estudo do escoamento superficial, uma vez que a presença de vegetação favorece a infiltração, reduz o impacte das gotas da chuva no solo e reduz a velocidade de escoamento superficial, contribuindo para a redução dos fenómenos de erosão.

2.3.1.2. Precipitação

A precipitação tem origem num grande reservatório que é a atmosfera, «que, ao condensar-se dá origem a gotas de água líquidas, as quais, por sua vez, ou se evaporam de novo, ou se aglomeram e originam a precipitação» (Lencastre & Franco, 1984).

Ao cair na superfície terrestre, a precipitação será parcialmente infiltrada no solo, retida, ou intercetada pela vegetação existente. A esse fenómeno chamamos precipitação útil, que é o resultado da precipitação total, menos as perdas por escoamento superficial.

Atualmente, existem cartas baseadas em dados recolhidos por udómetros, onde são medidas a intensidade e o tempo de duração das chuvas. Deste modo, é possível identificar o valor da precipitação e registar, em forma de mapa, as intensidades de precipitação máxima e mínima. No entanto, quanto maior for o tempo de recolha de dados, maior será o grau de precisão dos dados obtidos. Na Figura 16 pode ver-se uma carta de precipitação média anual, apresentada por Diniz, 1973.

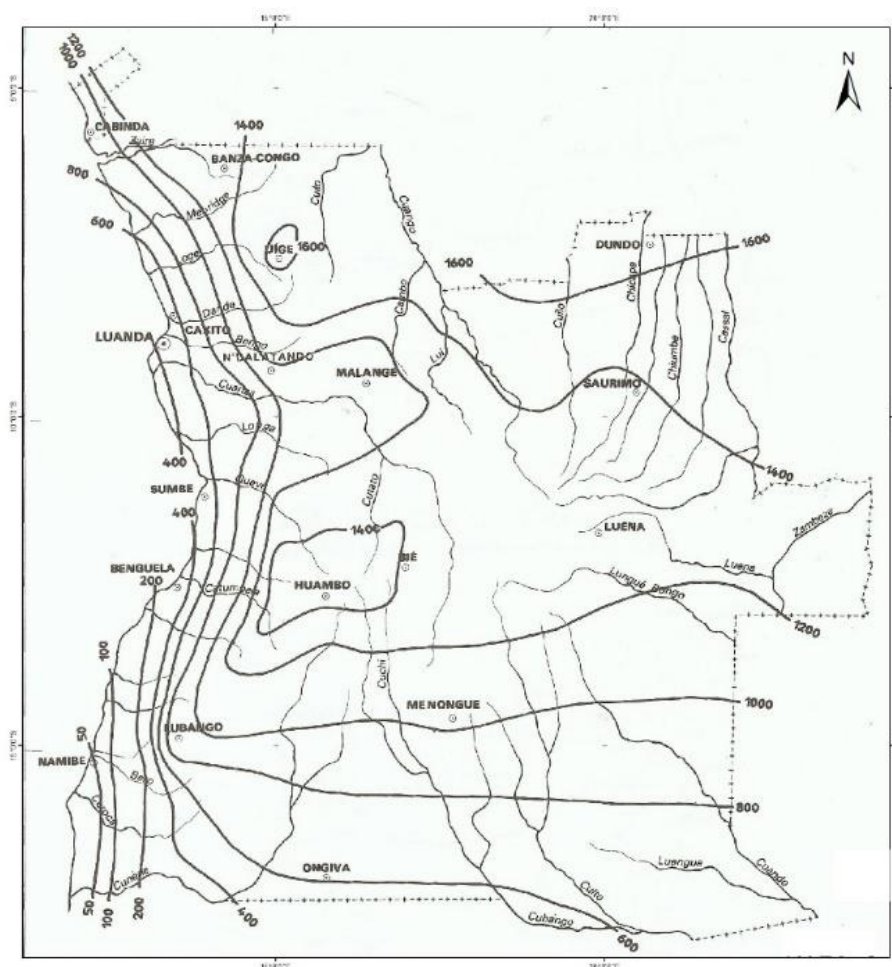


Figura 16 – Carta de precipitação média anual em milímetros (A. C. Diniz 1973)

2.3.1.3. Interceção

A precipitação, antes de chegar à superfície do solo, sofre interceção, que consiste na retenção das gotas de água pela vegetação existente, provocando uma perda. A Figura 17 (Lencastre e Franco, 1984), representa os vários componentes da interceção.

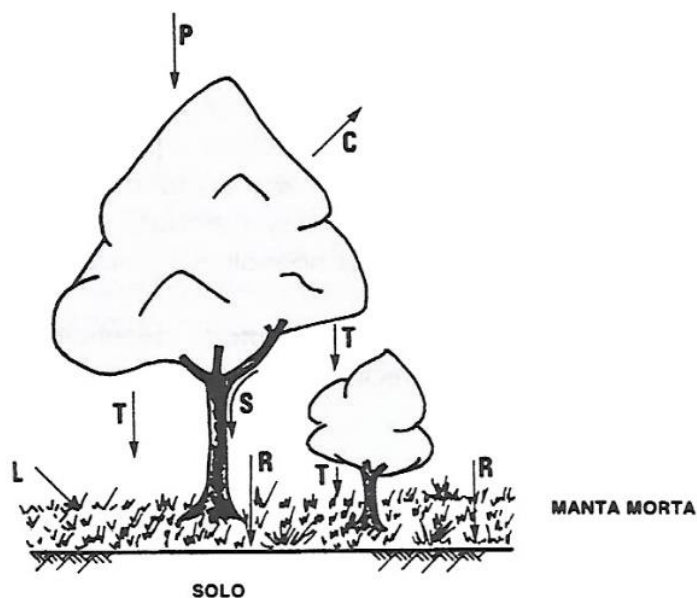


Figura 17 – Componentes da intercepção (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

Onde:

- C – A precipitação é interceptada pelas copas das árvores (folhas, ramos e troncos), e retorna à atmosfera por evaporação;
- L – A precipitação é interceptada pela manta morta vegetal e retorna à atmosfera por evaporação;
- P – Precipitação total;
- R – A precipitação que não é interceptada e consegue atingir o solo, chamando-se precipitação eficaz;
- S – A precipitação é interceptada pelas copas das árvores, contudo, não retorna à atmosfera por evaporação, escoando assim pelos troncos;
- T – Precipitação de penetração. Apesar da presença de árvores, parte da precipitação consegue atingir o solo.

No estudo de uma grande bacia hidrográfica dificilmente se observa um comportamento uniforme no que respeita ao fator de intercepção. Neste sentido, e zelando pela segurança, este fator não deve ser considerado no cálculo do caudal de ponta de uma bacia.

2.3.1.4. Evaporação

A alteração do estado da água do estado líquido para o estado gasoso designa-se por evaporação. Esta mudança de estado permite o fornecimento de água em estado gasoso para os grandes reservatórios da atmosfera. Desta forma, o ciclo hidrológico completa-se, dando origem a um sistema infinito e necessário para os ecossistemas.

2.3.1.5. Evapotranspiração

O processo de evapotranspiração resulta em perda de água, por meio das plantas. Este processo dá-se através da evaporação das partículas de água, presentes nas folhas das plantas para a atmosfera. A água evaporada é substituída pela água presente na raiz das plantas. Ao ocorrer esta troca, existe uma diminuição da presença de água na raiz da planta, ou seja, no círculo radicular.

Segundo Ziemer (1981), «as florestas podem remover (...) humidade do solo por evapotranspiração». Assim, pode afirmar-se que a presença de vegetação como proteção superficial previne o aumento do nível da água subterrânea.

Ao existir água nos poros do solo, ocorrerá um aumento da pressão intersticial, que resultará numa diminuição da resistência ao corte. A Figura 18 representa uma carta referente à evapotranspiração média anual, apresentada por Diniz, 1973.

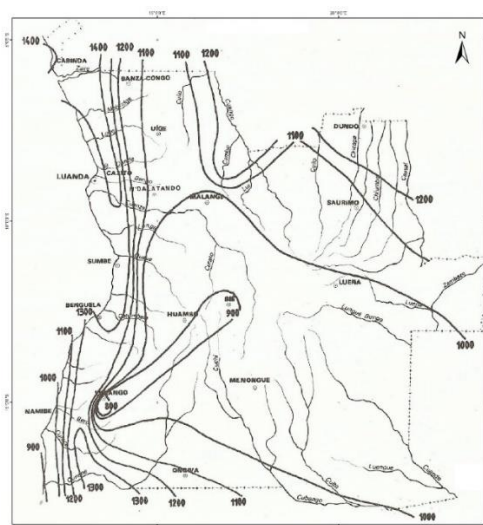


Figura 18 – Evapotranspiração média anual em milímetros (A. C. Diniz, 1973)

2.3.1.6. Infiltração

O tipo de solo existente é um dos aspetos mais importantes para que a infiltração de água no solo ocorra. Solos com características homogéneas permitem a circulação de água pelo seu interior, pois a presença de micróporos é bastante significativa.

Há autores que defendem que a presença de raízes contribui para o aumento da permeabilidade e da infiltração no solo, por adicionarem rugosidade à superfície do terreno e criarem macroporos, incrementando a percolação em profundidade (Mariano, 2015).

Este sistema tubular regular ou irregular permite a infiltração da água da superfície terrestre para o seu interior, alimentando o lençol freático e diminuindo o caudal do escoamento superficial.

2.3.1.7. Escoamento Superficial

A precipitação que não é intercetada ou evaporada chega à superfície da terra, onde uma parte é infiltrada, como visto anteriormente. A água pluvial que não sofre infiltração é reconduzida, superficialmente, até à linha de água mais próxima. Deste modo, este volume de água segue as linhas topográficas de forma gravítica.

Neste processo de escoamento superficial, dependendo da inclinação topográfica, podem ocorrer erosões laminares que poderão originar ravinas de grandes dimensões, dependendo da intensidade, duração e frequência das chuvas.

No estudo de uma bacia, considera-se um coeficiente de escoamento, designado *Runoff*, quociente entre a água que escoar superficialmente pelo total da água precipitada, que depende do tipo de revestimento e da inclinação média da bacia.

Na Tabela 5 (Ven & Chow, 1964), apresenta-se os valores para o coeficiente de escoamento considerando diferentes tipos de solo e diferentes coberturas da bacia.

Tabela 5 – Coeficiente de escoamento para áreas agrícolas (Ven & Chow, 1964)

Tipos de solos	Cobertura da bacia		
	Culturas	Pastagens	Bosques e florestas
	C		
Com capacidade de infiltração superior à média; usualmente arenosos.	0,20	0,15	0,10
Com capacidade de infiltração média; sem camadas de argila; solos francos ou similares.	0,40	0,35	0,30
Com capacidade de infiltração inferior à média; solos argilosos pesados ou solos com uma camada argilosa junto à superfície; solos delgados sobre rocha impermeável.	0,50	0,45	0,40

2.3.1.8. Escoamento Subterrâneo

A infiltração corresponde à parcela da precipitação que se movimenta para dentro do solo por ação da gravidade e pelo potencial capilar. Atravessa os estratos de solo e a que não fica retida por capilaridade atinge a zona saturada das formações geológicas onde se movimenta e pode ser captada, nos aquíferos. O fornecimento de água a estes grandes reservatórios é de extrema importância, pois destes reservatórios pode ser retirada água para abastecimento doméstico, industrial e rega.

Os aquíferos podem ser classificados como livres, semiconfinados ou confinados, dependendo do tipo e da permeabilidade dos estratos que limitam as fronteiras, superior e inferior, dos estratos aquíferos. Na Figura 19, pode ver-se um esquema que explica os diferentes tipos de aquíferos.

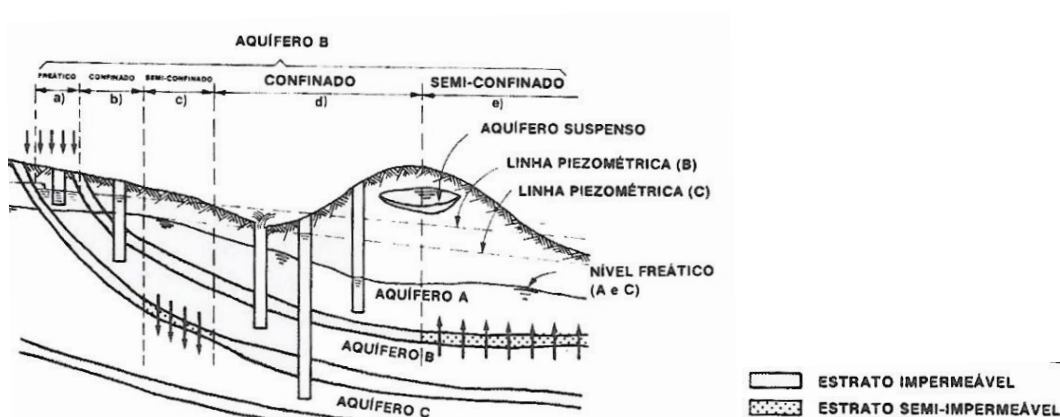


Figura 19 – Esquema dos diferentes tipos de aquíferos (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

2.3.1.9. Influência hidráulica na erosão

A ação hidráulica é um dos principais agentes no que respeita à modelação dinâmica da forma terrestre. Embora existam outros agentes, como a ação tectónica e o vento, a água é o mais significativo e relevante.

Segundo A. Lencastre e F. M. Franco, Figura 20 – Balanço do solo no estado natural «As partículas superficiais do solo vão sendo levantadas pelos salpicos de água e arrastadas pelo escoamento superficial, dando origem à erosão; a água que escoo no subsolo pode originar movimentos de massa e lixiviação de nutrientes em solução. Os materiais retirados são substituídos pela meteorização da rocha subjacente e pela matéria orgânica resultante da manta morta, parte da qual, por sua vez, retorna às plantas. No estado natural, estabelece-se, assim um certo equilíbrio entre estes processos, e os solos podem ser considerados estáveis durante longos períodos» (Lencastre & Franco, 1984).

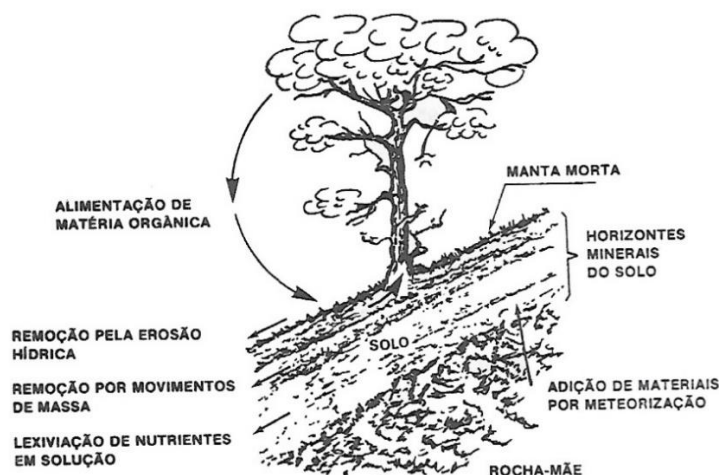


Figura 20 – Balanço do solo no estado natural (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

A ação da água pode originar a erosão numa fase inicial na queda quando se dá o impacto da gota de água no solo e no seu escoamento superficial, o que está diretamente relacionado com a intensidade da chuva. Em ambos os casos, a presença de cobertura vegetal, influencia, consideravelmente, o amortecimento do impacto das gotas de chuva e o arrastamento das partículas de menor dimensão do solo quando da ocorrência de escoamento superficial.

A geomorfologia é um fator da maior importância no estudo das erosões, uma vez que a inclinação está diretamente ligada com a velocidade e a velocidade, por sua vez, diretamente ligada à erosão.

Segundo A. Lencastre e F. M. Franco (1984), existem três zonas ou estados no estudo de uma encosta, no que respeita à erosão:

- zona superior, próxima do topo — erosão pouco significativa;
- zona intermédia, inclinação acentuada — erosão muito significativa;
- zona inferior ou final — deposição de sedimentos.

O esquema que se apresenta na Figura 21, representa as zonas consideradas no estudo da erosão de encostas.

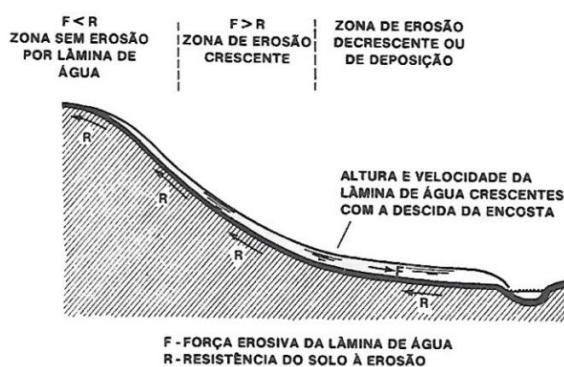


Figura 21 – Erosão de encosta (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

Na Figura 22, pode ver-se uma imagem de Cabinda com a erosão visível nas encostas.



Figura 22 – Exemplo de erosão em encosta, Cabinda (Proenge, 2017)

2.3.2. Ação do vento

Um dos agentes responsáveis pela aceleração do processo de erosão é a ação do vento, que pode ser classificada de ação direta ou indireta. A ocorrência de transporte superficial de partículas finas de solo pode ser classificada como uma ação direta. A ação indireta consiste em transmitir energia a elementos externos como as árvores que transmitem essa energia ao solo através de vibrações.

As copas das árvores são o elemento recetor destas ações, originando, vibrações no tronco, que se dissipam no solo através das raízes. Estas vibrações têm como consequência um aumento das tensões no solo e uma redução na resistência que, em caso limite, pode originar a rotura, tombamento ou desenraizamento.

Pode observar-se um exemplo deste fenómeno na imagem apresentada na Figura 23.



Figura 23 – Tombamento proveniente da ação do vento (National Weather Service, 2017)

Com base no estudo realizado por Rodgers, que consistia em simular a vibração por ação do vento em árvores, foi observado um aumento da pressão intersticial durante a realização do ensaio dinâmico. Como resultado dessa vibração, originou-se uma rotura de forma radicular, proveniente da fraturação hidráulica do solo, como se pode ver na Figura 24.

A presença de árvores em áreas de taludes e suscetíveis à ocorrência de erosão pode acelerar as consequências dos agentes, como a ação do vento, resultando na diminuição da tensão resistente do solo.

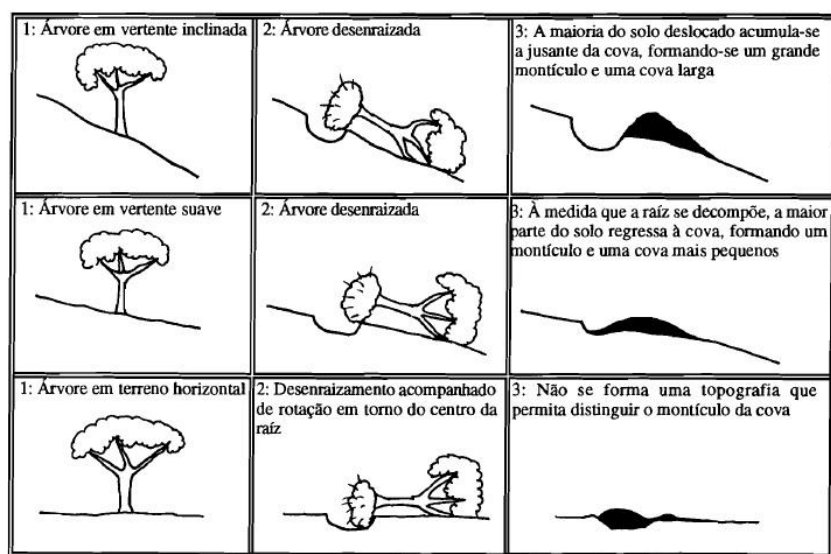


Figura 24 – Efeito do ângulo de talude na ocorrência de movimentos de massa (adaptado de Norman, 1995)

2.3.3. Ação do Homem

2.3.3.1. Desmatção descontrolada

Os aspetos social e económico são as principais razões para a ocorrência da desmatção em locais onde a floresta era abundante e impenetrável. A necessidade de exportação para obtenção de divisas ou para comercializar são os principais motivos económicos. No entanto, os hábitos e costumes locais promovem a desmatção, quer para obtenção de matéria-prima para a construção, quer para queimar e vender como carvão.

A área desmatada vai aumentando anualmente e, como consequência, da desproteção dos solos, origina-se a erosão laminar em pontos de declive baixo e ravinamento em pontos de grande declive.

Segundo o Eng. Augusto Sardinha, «a regeneração natural, ou a formação de maciços arbóreos, não é ali fácil, dadas as características desérticas ou semidesérticas do meio, onde a vegetação dificilmente prospera sem a cooperação do homem, traduzida em regas periódicas durante os primeiros tempos» (Sardinha, 1957).

É visível na Figura 25 que num horizonte temporal de 10 anos, a ocupação do solo foi claramente descontrolada. Verifica-se a substituição da vegetação de cobertura do solo pela

construção de bairros. Como consequência, o processo de erosão é fortemente acelerado e pode colocar em risco as construções.



Figura 25 – Imagem aérea antes e depois da desmatação (Google Earth, 2006 e 2016)

2.3.3.2. Construção em áreas de risco

A população na cidade de Luanda aumentou de forma exponencial nos últimos anos, como consequência da guerra que decorreu durante um longo período de tempo (1975 a 2002), mantendo-se esta tendência pela falta de trabalho nas províncias.

O fluxo para a capital tem como consequência um elevado crescimento demográfico e um aumento descontrolado da construção, principalmente em áreas de risco. Na Figura 26 pode observar-se um gráfico que representa o crescimento da população até 2000 em Luanda. Os censos de 2014, apresenta uma população de 6.517.858 habitantes.

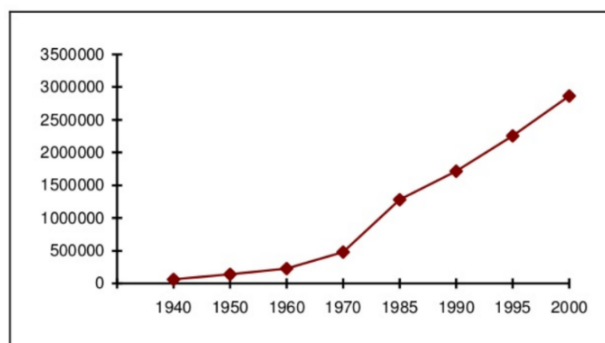


Figura 26 – Evolução histórica da população 1940/2000 (Governo de Angola, 1989)

Os bairros, designados musseques, não obedecem a uma matriz de arruamentos e a distância entre as habitações é tão diminuta que muitas vezes impede a circulação dos carros de emergência médica.

Grandes bairros sem infraestruturas como água, esgotos e eletricidade, sem mínimas condições de habitabilidade, são focos de doenças, de que é exemplo a malária.



Figura 27 – Bairro de Musseque (Creative boom, 2018)

Desta forma, a necessidade de um Plano Diretor Municipal, PDM e de uma fiscalização apertada, preveniria a construção descontrolada, no sentido de evitar a perda de vidas humanas.

Na Figura 28, pode ver-se uma imagem de construções em risco devido ao ravinamento em meio urbano.



Figura 28 – Construções em risco, Kuito Cuanavale (BDM, 2018)

2.3.3.3. Infraestruturas

Infraestruturas como caminhos-de-ferro e vias rodoviárias são obras de grande investimento e com um período de retorno bastante longo. Neste sentido, estas obras devem ser protegidas e salvaguardadas de riscos, como a erosão. A função principal destas infraestruturas é a ligação entre duas cidades ou locais, permitindo a mobilidade de pessoas e bens, em viagens de turismo, serviço ou outras razões.

Em fase de projeto, deve ser desenvolvido um estudo completo com a avaliação das consequências de implantação das vias em locais de risco. Problemas como a interceção de linhas de água naturais e o tratamento das águas pluviais superficiais da via devem ser abordados de forma completa, desde o ponto de queda até ao ponto de descarga.

Na Figura 29 pode observar-se um exemplo de erosão provocado pela descarga de uma passagem hidráulica.



Figura 29 – Erosão em passagem hidráulica (ProEnge, 2018)

O tratamento inadequado ou incompleto de obras leva a um elevado incremento dos custos no que respeita à manutenção e conservação das vias. Esta temática deve ser abordada e discutida, seriamente, principalmente em Angola.

Segundo autores como Augusto Manuel Sardinha, «nos primitivos tempos da ocupação de Angola, a floresta revestia quase toda a sua superfície. Porém, o homem na ânsia de desvendar e explorar as suas riquezas, sacrificou-a desmedidamente sem prever que esta ação redundaria — num futuro não muito longínquo — em grave prejuízo para a sua própria manutenção» (Sardinha, 1957).

Com a expansão e na procura de novas cidades, as florestas deram lugar a zonas urbanas, que pouco a pouco iam desnudando e mostrando o que até então era floresta impenetrável. Por outro lado a Figura 30 demonstra hábitos do povo nativo e local, com a prática de queimadas, talvez de uma forma inconsciente, originou a redução de «massa lenhosa incomensurável... facilitando deste modo a expansão das savanas, e contribuindo em elevado grau para a erosão dos solos» (Sardinha, 1957).



Figura 30 – Queimadas expondo o solo à erosão, sem cobertura vegetal (Blog Palhão, 2013)

A erosão dos solos tem causado um revés no que respeita à economia, pois as soluções técnicas adotadas têm custos de manutenção muito elevados. Na maior parte das situações, a manutenção deve ser feita periodicamente e de forma manual, o que eleva os custos das operações de manutenção, tornando-as pouco exequíveis.

A importância da observação e monitorização de pontos críticos para a ocorrência de erosão é fundamental, uma vez que a intervenção tardia pode elevar, de forma exponencial, os custos de tratamento e correção, como se observa na Figura 31.



Figura 31 – Erosão sem controlo na fase inicial

2.3.3.4. Caminhos pedestres

Os caminhos pedestres são uma solução habitual para a mobilidade em Angola. Embora necessários, causam um grande impacto, criando pontos críticos de erosão, uma vez que desnudam o solo através da eliminação da cobertura vegetal, como se pode observar na Figura 32.

Por outro lado, como consequência da frequência de caminheiros, são depositados resíduos sólidos que aglomerados constituem, também, pontos críticos.



Figura 32 – Caminho pedestre

3. Caraterização da situação

3.1. Levantamento geométrico

3.1.1. Introdução

A caracterização geométrica é um fator de extrema importância como primeira abordagem para a análise e tratamento de um local afetado pela erosão. Um exaustivo e correto levantamento da geometria conjugado com as propriedades físicas e mecânicas dos materiais e com as características dos agentes responsáveis pela erosão é fundamental para a otimização das soluções.

Além das características do solo e dos vários fatores intervenientes, o levantamento geométrico torna-se um precioso auxiliar durante o estudo e procura da melhor solução.

Existem vários métodos para o levantamento geométrico. A topografia clássica, em que se incluem a estação total, o Global Positioning System (GPS) de alta precisão, o *Laser scan* e o VANT (voo aéreo não tripulado).

O grau de perigosidade devido à queda de solo e às características do objeto em estudo — extensão, largura e profundidade — são fatores importantes na seleção do método a adotar no levantamento geométrico. A técnica selecionada deverá ter em consideração que a erosão é um processo ativo e dinâmico e, nesse sentido, a celeridade na recolha de informação, a precisão e o zelo na segurança dos operadores são condições indispensáveis.

São aqui apresentados três métodos para levantamento geométrico e descritos, de forma sucinta, as vantagens e inconvenientes, os métodos operacionais e exemplos do produto final.

3.1.2. Topografia clássica — Estação total e GPS de alta precisão

A técnica «clássica» de levantamento consiste na obtenção de pontos estratégicos para extração da informação de campo suficiente para um objetivo específico. Para operar esta tecnologia, é necessário um profissional com técnica e formação específicas.

As informações obtidas em campo são processadas por um *software* e desenhadas por um operador especializado.



Figura 33 – Estação total (esquerda), GPS (direita), (Leica, 2018)

Vantagens: Alto grau de precisão (± 1 mm Estação total, ± 3 mm GPS).

Desvantagens: Dois operadores — topógrafo e porta miras (Estação Total) /um operador — topógrafo (GPS), limitação de trabalho em áreas de instabilidade, apenas gera topografia clássica, elevado tempo de execução do trabalho de campo e de gabinete, limitado a pequenas áreas de levantamento.

Produto gerado: Levantamento típico de curvas de nível e malha triangular 3D.

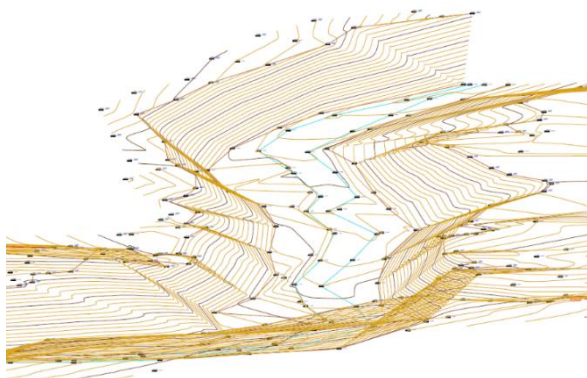


Figura 34 – Levantamento efetuado com topografia clássica (BDM, 2017)

3.1.3. *Laser scan*

A técnica *Laser scan* consiste na obtenção de milhares de pontos com afastamento muito reduzido, em que pode ser atribuída cor. Para operar esta tecnologia, é necessário um

profissional com formação técnica específica e experiência que permita a extração da informação de campo suficiente para um objetivo específico.

As informações obtidas em campo são processadas por um *software* e filtradas por um operador especializado.



Figura 35 – *Laser scan* (Leica, 2018)

Vantagens: Grau de precisão médio (± 5 mm), nuvem de pontos, malha de terreno 3D, ortofotografia, um operador de *laser scan* e permite trabalhar em áreas de instabilidade.

Desvantagens: Elevado período de tempo para execução do trabalho de campo e de gabinete, limitado a pequenas áreas de levantamento

Produto gerado: Nuvem de pontos com afastamento muito reduzido, levantamento típico de curvas de nível, malha triangular 3D e ortofotografia de resolução média.

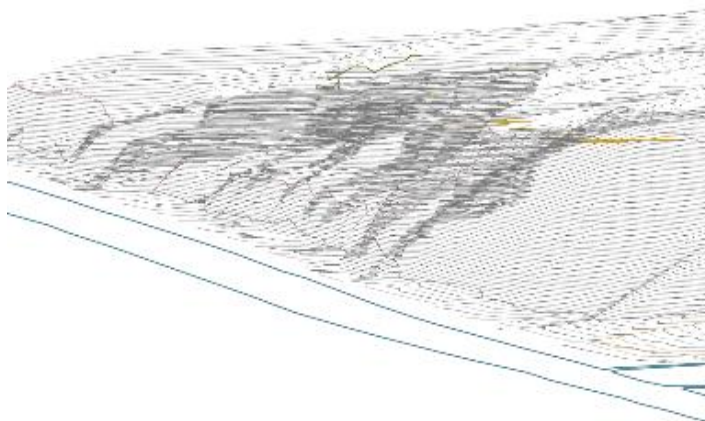


Figura 36 – Levantamento efetuado com *laser scan*, curvas de nível (BDM, 2017)

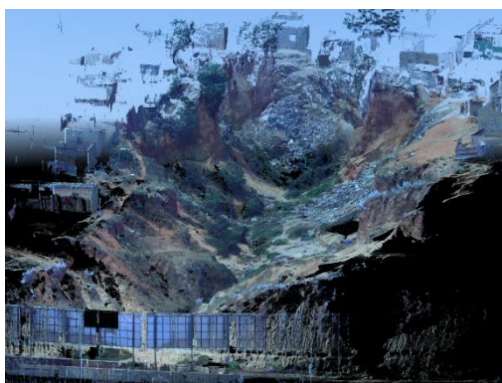


Figura 37 – Levantamento efetuado com *laser scan*, modelo tridimensional (BDM, 2017)

3.1.4. VANT

A técnica VANT — voo aéreo não tripulado — consiste na obtenção de imagens aéreas georreferenciadas de alta resolução. O trabalho de campo é realizado por um profissional com formação técnica específica e experiência que permite a extração de informação suficiente para um objetivo específico.

As informações obtidas em campo são processadas por um *software* e filtradas por um operador especializado.

Esta nova tecnologia extrai, com muito detalhe, toda a informação de campo, fornecendo um modelo virtual da realidade que permite, a qualquer utilizador, visualizar o modelo virtual no seu computador pessoal.



Figura 38 – VANT, drone Phantom 4 pro (DJI, 2018)

Vantagens: Grau de precisão médio (± 40 cm), nuvem de pontos, malha de terreno 3D, ortofotografia, um operador de VANT, permite trabalhar em áreas de instabilidade, permite levantamento em grandes áreas e elevado rendimento no trabalho de campo.

Desvantagens: Período de tempo médio para o tratamento de dados em gabinete médio.

Produtos gerados: Nuvem de pontos com afastamento reduzido, malha triangular (Mesh), levantamento típico de curvas de nível, ortofotografia de alta resolução e modelo virtual 3D.

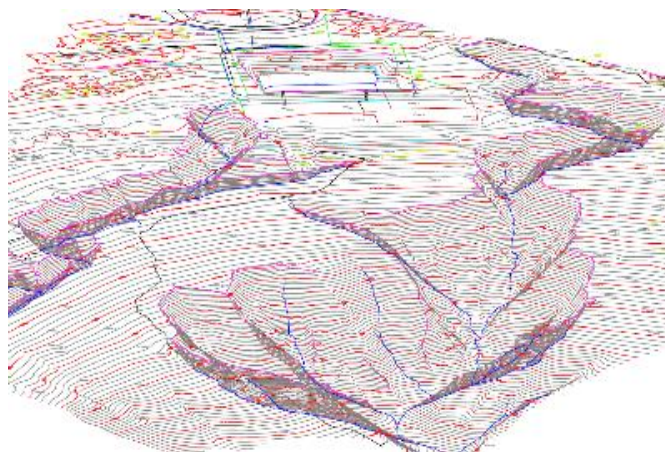


Figura 39 – Levantamento efetuado com VANT, curvas de nível 3D (BDM, 2017)



Figura 40 – Levantamento efetuado com VANT, ortofotografia (BDM, 2017)

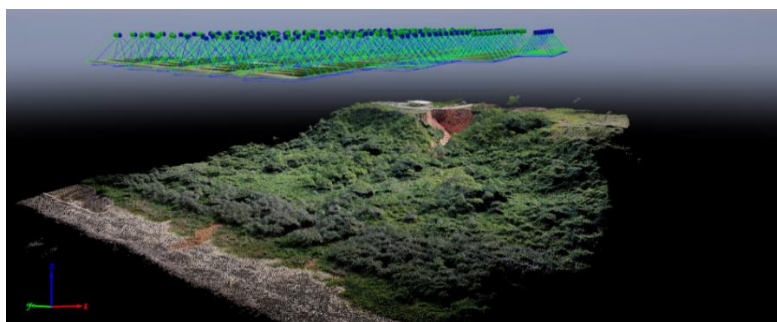


Figura 41 – Levantamento efetuado com VANT, modelo virtual 3D (BDM, 2017)

3.2. Caraterização do solo

3.2.1. *Características Mesológicas de Angola*

Características Mesológicas de Angola, escrito em 1973 pelo engenheiro Castanheira Diniz, é um documento importante que traça o perfil de cada zona agrícola, caracterizando os aspetos fisiográficos, geológicos e litológicos dos solos e da vegetação.

Dividindo o território angolano em 32 zonas agrícolas, este documento caracteriza o território de forma mesológica, ou seja, apresenta um estudo do meio e ainda apresenta, de forma sucinta, características climáticas, aspetos do ruralismo e atividade agrícola das populações.

O documento é uma «síntese resultante de exaustiva consulta de bibliografia regional e das observações sistemáticas, que cobriam praticamente toda a extensão territorial Angolana» (Diniz, 1973).

No capítulo do estudo de caso, será abordada a zona agrícola em causa, situando as características mesológicas da área de estudo.

3.3. Mapa de erosão 1:2 000 000

O mapa de erosão desenvolvido pela Bahr, Mapping & Printing, publicado na Southern África Development Co-ordination Conference - SADCC, Soil and water, pretende categorizar o solo segundo os parâmetros de: declividade (Slope), erodibilidade (Erodibility), capacidade erosiva da chuva (Rainfall Erosivity) e cobertura vegetal (Cover). Deste modo estão representadas à escala 1:2 000 000, quatro categorias de erosão, fraca, média, alta, e muito alta.

O mapa apresentado, pode ser considerado um bom ponto de partida numa visão macro. No entanto, permite definir as prioridades numa abordagem de estudo mais detalhada. Pode ser observada uma mancha de muito alto risco de erosão em áreas a norte/centro do país.

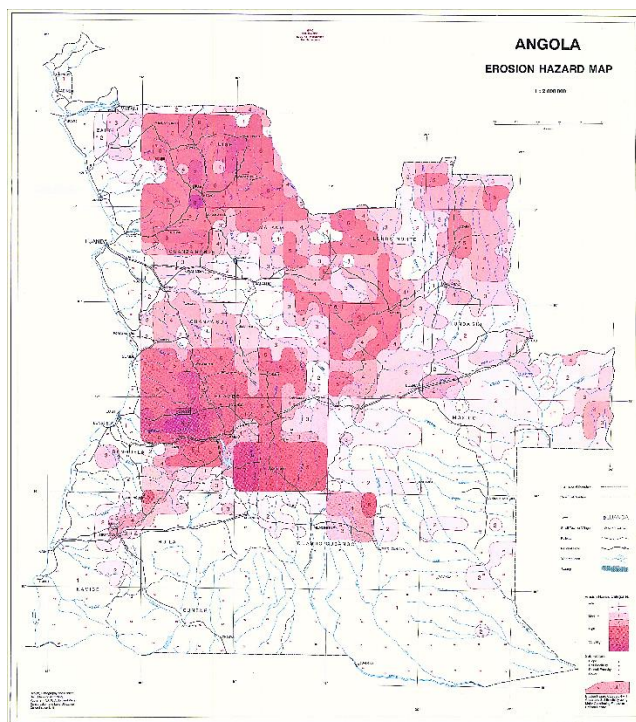


Figura 42 - Mapa de erosão a escala 1:2 000 000 (Bahr, Mapping printing, 2016)

3.4.Reconhecimento geotécnico e ensaios

O estudo geotécnico desenvolve-se por várias etapas recorrendo a equipamentos diversificados e adaptados a cada situação, com vista à obtenção do maior número possível de informações para esclarecimento das características geométricas, espaciais, e estruturais dos maciços e propriedades físicas e mecânicas dos materiais que os constituem.

Inicia-se pela recolha da informação existente em diversos suportes e pela análise de fotografia aérea, se necessário. Segue-se o reconhecimento de campo, etapa indispensável para a preparação da campanha de prospeção no campo. A prospeção no local pode ocorrer utilizando o acesso direto com recursos a sondagens, poços ou valas ou, de forma indireta, através de diversos métodos geofísicos (sísmicos, elétricos, gravimétricos). O acesso através de sondagens mecânicas permite a deteção do nível freático, a recolha de amostras com recurso aos mais variados tipos de amostradores e a realização de ensaios como o Standard Penetration Test (SPT), que através das amostras recolhidas permite a identificação dos estratos atravessados e com o número de pancadas para a penetração do seu pilão normalizado permite obter informação sobre a consistência ou a compacidade dos solos. É

possível, através de relações empíricas, obter alguns parâmetros que caracterizam a resistência e a deformabilidade. O Cone Penetration Test (CPT) permite obter a resistência de ponta e a resistência friccional (resistência lateral de atrito) dos solos atravessados. Há, também, outros penetrômetros dinâmicos com massas de diferente valor que através da penetração de uma ponteira normalizada permitem obter informação contínua da resistência de ponta com a profundidade. Outros ensaios a realizar “*in situ*” permitem obter outras informações, como o ensaio de corte rotativo, “*field vane test*” que fornece valores de resistência não drenada e é adequado para solos argilosos brandos ou os ensaios para a determinação da permeabilidade em solo tipo “*Lefranc*” ou em rocha ensaio *Lugeon*. Os ensaios pressiométricos pelo seu princípio de aplicação de carga permitem a determinação de parâmetros de resistência e de deformabilidade. Cada um destes ensaios tem um domínio de aplicação que deve ser respeitado. O número de sondagens, a sua disposição e profundidade, assim como o tipo e o número de ensaios devem ser determinados pela situação real e pelo tipo de obra em apreço. A qualificação do técnico, o conhecimento das técnicas de ensaio e a experiência são determinantes na elaboração de um estudo geotécnico e do respetivo relatório.

Os ensaios laboratoriais realizam-se com recurso a amostras obtidas por acesso direto (colhidas em poços, valas, etc) ou através de furos de sondagem com recurso a amostradores. As operações envolvidas na amostragem tendem a alterar as características do solo “*in situ*” num grau que depende de fatores como:

- a posição do nível freático;
- a forma de acesso ao maciço, para a recolha;
- o tipo de amostrador utilizado;
- o processo de introdução do amostrador;
- o acondicionamento, a proteção e o armazenamento da amostra;
- o processo de extração da amostra;
- o manuseamento na preparação dos provetes.

No entanto, os ensaios laboratoriais têm um vasto leque de vantagens nomeadamente a possibilidade de trabalhar com condições variáveis para os solos e para os fatores envolvidos de forma a obter cenários de resposta e a possibilidade de efetuar os ensaios em condições de tensão, deformação e drenagem conhecidas e controláveis.

Para situações como as que estão envolvidas neste trabalho, os ensaios laboratoriais são um recurso essencial no estudo das propriedades físicas e mecânicas do solo. Estes ensaios têm como vantagem o estudo do solo em vários estados, estado natural, solto, ligeiramente compactado e muito compactado. Com os parâmetros obtidos, é possível simular num *software* e obter os resultados destes materiais quando sujeitos às ações mais desfavoráveis.

Com a realização de ensaios para identificação e caracterização dos materiais consegue-se identificar os possíveis fatores, relacionados com o solo, que provocaram ou podem provocar a ocorrência da erosão.

A caracterização física é obtida através de ensaios como a determinação da distribuição granulométrica das partículas, a determinação dos limites de consistência, e do teor em água natural, a determinação da massa volúmica, da densidade das partículas sólidas e da compactidade através de amostras representativas. Ensaio de compressão triaxial, de corte direto simples ou de corte direto são de extrema importância para a determinação dos parâmetros de resistência ao corte (coesão e ângulo de atrito) que são fatores fundamentais nas equações de equilíbrio relacionadas com a análise da estabilidade de taludes. Nos casos em que as soluções passam pela execução de aterros a análise da compressibilidade dos solos é, também, de grande utilidade.

Para a realização de aterros o ensaio de compactação é indispensável para a determinação do teor em água ótimo que permitirá obter o peso volúmico máximo. Esta informação é, também, indispensável para o controlo da compactação dos aterros porque serve de parâmetro de referência.

Outro teste, de extrema importância, neste tipo de obras é o ensaio de erodibilidade, que permite caracterizar o solo no que respeita ao arraste de partículas quando sujeito a ações hidráulicas.

3.5. Aplicação da equação universal de perda de solo (EUPS)

Fatores como a água, o vento e a gravidade são fenómenos físicos que originam e desencadeiam o transporte de partículas de solo, denominado erosão. Este processo pode ser lento, mas de características naturalmente irreversíveis.

Nesse sentido, foi desenvolvida pela *National Runoff and Soil Loss Data Center*, uma equação internacionalmente designada por *Universal Soil Loss Equation* (USLE), traduzida para português como Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que tem como objetivo caracterizar as perdas médias, anuais, de solo por unidade de área. Esta equação integra vários fatores físicos, espaciais, temporais e de gestão.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (3.1)$$

O fator A é a perda média anual de solo ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), R é o fator de erosividade da chuva ($\text{MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ou $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), K é o fator erodibilidade do solo ($\text{t.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), LS é o fator topográfico que conjuga o comprimento de encosta (L) e o declive (S), C é o fator de coberto vegetal e o P é o fator de práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão.

3.5.1. Erosividade (R)

O fator de erosividade (R) ou fator energético da chuva segundo Lencastre e Franco (1984) relaciona a energia cinética de cada gota de chuva com o potencial erosivo dessa mesma gota no solo.

O fator de erosividade é de extrema importância, uma vez que deve refletir o impacto gerado pelas gotas de água ao cair na superfície do solo e a capacidade de transporte das partículas no escoamento superficial. No entanto, estes fatores dependem, ainda, da intensidade (I) da precipitação.

Uma vez que o fator de intensidade de precipitação e tempo de duração da mesma não é linear nem constante, alguns autores simplificaram o cálculo do fator de erosividade da seguinte forma:

- Wischmeier e Smith (1978) recorrem ao índice de IE_{30} , que é descrito pelo «produto entre a energia cinética da precipitação e a máxima intensidade da precipitação durante um período de 30 minutos». O cálculo do valor anual do IE_{30} é obtido pela soma dos índices calculados individualmente para cada acontecimento pluvioso» (Wischmeier & Smith 1978, Henriques 2009, Kouli *et al.* 2009).

$$R = (\sum_{i=1}^n E_i \times I_{30i})/100 \quad (3.2)$$

Em que o E é a energia da chuvada (kWh/ha) e I_{30} a máxima intensidade de precipitação (cm/h).

Os valores da energia de uma chuvada dependem diretamente de fatores como a energia específica, e (kWh/Ha.cm de chuvada) e altura h (m).

$$E = e \times h \quad (3.3)$$

Por fim, a energia específica (e) pode ser obtida, de forma empírica associada a uma precipitação de intensidade I (cm/h).

$$e = 0,572 + 0,242 \log I \quad (3.4)$$

- O *Instituto para la Conservación de la Naturaleza, Espanha* (1988), recorre a valores de precipitação média mensal e anual, e apresenta uma nova equação em que se pode obter o fator R da EUPS.

$$R = e^{-1,235} \times (PMEX)^{1,297} \times (MR)^{-0,511} \times (MV)^{0,366} \times (F24)^{0,414} \quad (3.5)$$

Em que o e é a energia específica, $PMEX$ é a precipitação média da máxima mensal de cada ano de uma série (mm), MR é a precipitação média de um período outubro-maio (mm), MV é a precipitação média de um período junho-setembro (mm), $F24$ é o fator de concentração da precipitação máxima diária definida como:

$$F24 = \frac{(\text{máxima precipitação diária anual})^2}{\Sigma(\text{máxima precipitação em 24h de todos os meses do ano})} \quad (3.6)$$

3.5.2. Erodibilidade (K)

O fator de erodibilidade (K) do solo é o valor quantitativo obtido de forma experimental, que resulta da suscetibilidade de um solo à erosão. Sob as «mesmas condições energéticas de chuva, uns solos são mais facilmente erodíveis que outros» (Lencastre & Franco, 1984).

Se igualarmos a 1, os fatores de L , S , C e P na equação universal, obteremos $A = RK$, ou seja, o, K representa a erosão por unidade do parâmetro R (t/kW.cm) (Lencastre & Franco, 1984).

Os valores de K, obtidos de forma experimental, resultam num ábaco que depende de fatores como o teor de silte ou de areia muito fina (%), teor de areia (%), estrutura do solo e permeabilidade.

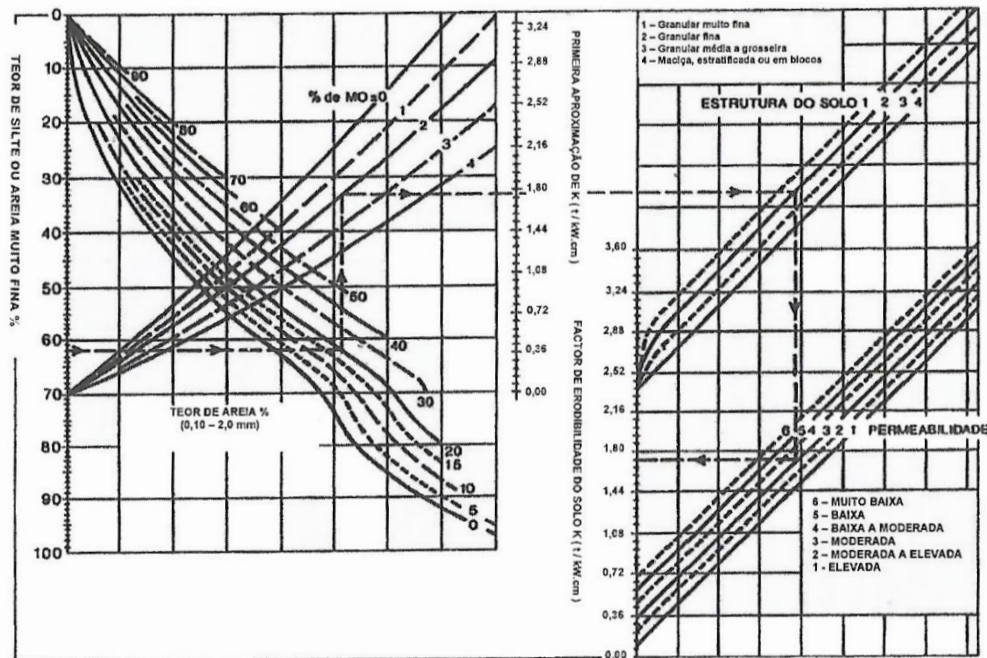


Figura 43 – Ábaco para a determinação do fator de erodibilidade do solo (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

3.5.3. Topografia (LS)

O fator topográfico é traduzido num produto entre o comprimento e a inclinação de um solo suscetível de escoamento superficial.

O comprimento (L) traduz a distância percorrida entre o início do escoamento superficial e o seu final, quer por mudança de inclinação, quer por interrupção por interceção de lâmina de água, como, por exemplo, um rio. Segundo A. Lencastre e F. Franco, esta «distância é medida segundo o máximo declive. Define-se como a relação entre a perda de solo que ocorre na distância real e a que, em iguais condições, ocorreria numa distância de 25m».

$$L = \left(\frac{\lambda}{25}\right)^{0,5} \quad (3.7)$$

Em que λ é distância real (m) e L é adimensional.

O fator de inclinação (S) tem em conta a inclinação do terreno segundo o máximo declive. «Define-se como a relação entre a erosão que ocorre no terreno com dada inclinação e a que ocorreria se, nas mesmas condições, o terreno tivesse a inclinação de 10%» (Lencastre & Franco, 1984).

$$S = \frac{(0,043s^2 + 0,30s + 0,43)}{7,73} \quad (3.8)$$

Em que s é a inclinação (%) e S é adimensional.

Em conclusão, da combinação destes dois fatores, comprimento e inclinação, obtém-se o fator topográfico (LS), sob forma de equação ou ábaco.

$$LS = \sqrt{\lambda} \times (0,00111s^2 + 0,00776s + 0,0111) \quad (3.9)$$

Em que s é a inclinação (%) e λ é distância real (m).

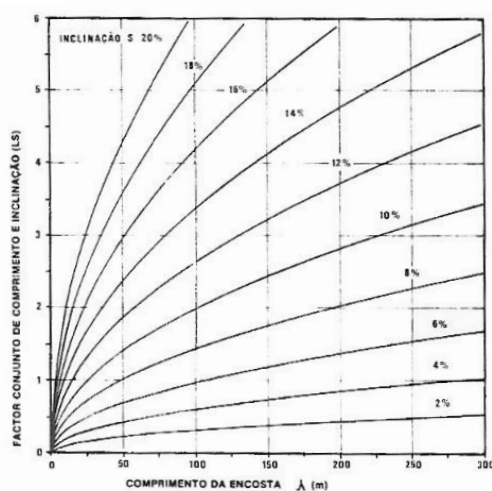


Figura 44 – Ábaco para determinação do fator LS (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

3.5.4. Coberto vegetal (C)

O fator coberto vegetal (C) é traduzido pela percentagem de ocupação do solo, no que respeita à matéria vegetal. A importância da matéria vegetal tanto na absorção do impacto da chuva, como na influência do tempo de escoamento superficial é traduzida por um fator da fórmula de EUPS, com valor numérico de 0 até 1 (0 a 100 %). Um solo mais suscetível à

erosão, ou seja, nu, tem um valor próximo de **0** e um solo totalmente coberto, com manta morta de espessura considerável, pode representar o valor **1** como máximo.

O coeficiente pode ser obtido pela expressão:

$$C = \sum C_i \times R_i \quad (3.10)$$

Em que C_i é a percentagem de área coberta e R_i representa a proporção do fator energético da chuva, R , correspondente ao período do ano em que é aplicável do coeficiente C_i (Lencastre & Franco, 1984).

3.5.5. Práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão (P)

O fator de práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão ou de conservação (P), à semelhança do fator anterior, tem em conta as práticas de conservação de solo com recurso a culturas realizadas ao longo das curvas de nível, em faixas, terraços ou socacos (Wischmeier e Smith, 1978).

A velocidade do escoamento superficial é influenciada pela existência de práticas agrícolas, neste caso a quantidade de sedimentos arrastados é menor. Este fator pode ser obtido com base na tabela que a seguir se apresenta, dependendo de fatores como a inclinação do terreno e as práticas de conservação do solo.

Tabela 6 – Valores do fator de práticas de conservação para a EUPS (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

Inclinação da superfície (%)	Práticas de conservação do solo		
	Cultivo em curvas de nível	Cultivo em faixas	Cultivo em terraços
2–7	0,50	0,25	0,10
8–12	0,60	0,30	0,12
13–18	0,80	0,40	0,16
19–24	0,90	0,45	0,18

4. Técnicas para tratamento e prevenção da erosão

Os processos erosivos são dinâmicos e desenvolvem-se, gradualmente até ao limite. É necessário tomar medidas antes deste limite. As técnicas de tratamento ou de intervenção apresentadas podem ser classificadas como medidas de emergência, de proteção, de correção, de reforço e de contenção.

Estudos geotécnicos e geológicos, assim como o conhecimento das condições existentes no local, são condições importantes no estudo do fenómeno de erosão. A solução de tratamento adotada, deve ser enquadrada com os possíveis mecanismos de rotura. Neste sentido, pode ser obtida uma solução técnica de estabilização que consista em reduzir as forças responsáveis pela instabilidade e/ou aumentar as forças estabilizadoras.

Os aspetos económicos da técnica de tratamento, assim como os materiais, os equipamentos e a mão-de-obra disponíveis são questões que devem ser consideradas quando se pretende seleccionar uma solução.



Figura 45 – Exemplo de processo erosivo, (Colegioweb, 2000)

4.1. Medidas de emergência

As medidas de emergência, são utilizadas para intervir, de forma rápida, prevenindo o desenvolvimento do processo erosivo. Estas medidas podem ser de carácter provisório, sendo removidas após a intervenção, ou de carácter definitivo, tendo uma função de serviço ao longo da vida da estrutura. Na Figura 46 apresenta-se uma imagem que ilustra uma medida de emergência. Neste caso foram criadas barreiras em betão leve, que serviram de valeta para recondução das águas pluviais, para fora da área afetada.



Figura 46 – Medida de emergência de valeta, desvio de águas pluviais (BDM, 2017)

Na maioria dos casos, as medidas de emergência podem ser de carácter hidráulico ou estrutural, como os exemplos referidos na Tabela 7:

Tabela 7 – Família de medidas de emergência

Tipo de medida	Descrição
Hidráulica	Desvio das águas pluviais, com recurso a valetas de drenagem; Dissipadores de energia; Pequenas bolsas de retenção.
Estrutural	Cobertura vegetal; Estacaria em madeira, com escoramento; Estacas em betão.

As medidas devem ser monitorizadas semanalmente, principalmente durante os períodos de chuva e sujeitas a adaptações ou reparações, até que sejam garantidas as condições de eficiência para o controlo dos processos erosivos.

4.1.1. Rip Rap (solo ensacado)

A solução de Rip Rap consiste em ensacar solo, permitindo a contenção a montante da ravina, evitando o avanço da erosão longitudinalmente. Esta solução deve ser conjugada com vegetação das paredes dos taludes e a criação de barragens em sacos de solo, criando assim um dissipador de energia/bolsa de sedimentos.



Figura 47 - Trabalhos de contenção provisória - ravinas de Pylone, Boukeni, Don Bosco e Itsaly - República Democrática do Congo, (ACA - Congo, 2016)

Após a implementação das medidas de emergência, é possível proceder, de forma definitiva, à elaboração do projeto de execução, com as especialidades de drenagem, contenção e arranjo urbanístico.

No entanto, deve haver um acompanhamento e monitorização do comportamento da estrutura provisória após a ocorrência de grandes períodos de precipitação e efetuadas intervenções pontuais de desvios de drenagens, caso exista uma erosão ativa visível.

4.2. Medidas de proteção

As medidas de proteção têm como objetivo prevenir e proteger da erosão os pontos suscetíveis à ocorrência deste fenómeno. Numa fase de estudo e elaboração de projeto, devem ser identificados estes pontos, através do estudo das características do solo, do declive e das ações a que o solo está sujeito. Após a identificação destes pontos mais suscetíveis são acionadas medidas de proteção para evitar consequências a longo prazo.

4.2.1. Valas de retenção

Esta medida de proteção permite salvaguardar e reter material proveniente da queda de um talude que sofra erosão. No entanto, é mais utilizada em situações com material rochoso de pequena a grande dimensão. No caso de solos argilosos ou granulares, esta medida não é tão eficaz.

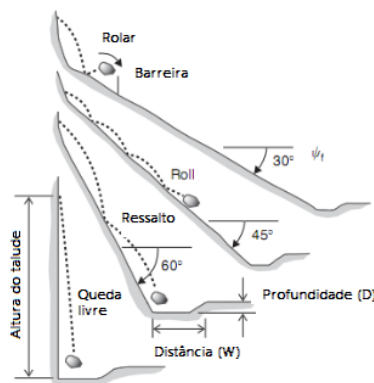


Figura 48 – Comportamento do material instabilizado segundo o ângulo do talude (Neves, 1995)

O dimensionamento desta vala de retenção tem em conta vários fatores, como a inclinação, a altura e a dimensão dos blocos do talude.

4.2.2. Banquetas

Este tipo de medida de prevenção, Figura 49, consiste em criar um talude interrompido por degraus, designados tecnicamente por banquetas que dificultam o movimento do solo.



Figura 49 – Banquetas com valetas (Escola superior de Agronomia, 2008)

De modo a evitar a erosão e instabilidade das banquetas, o degrau deve ter uma inclinação para o seu interior, onde se situa uma valeta de drenagem para recolha das águas pluviais. Deve ainda ser garantida a cobertura vegetal do talude, de modo a proteger dos impactes da precipitação.

4.3. Medidas de correção

O reperfilamento do talude é a técnica mais simples e eficaz no tratamento de patologias derivadas da ação da erosão. Esta medida pode ser descrita como uma alteração da geometria do talude conjugada com um sistema de drenagem, para redução da infiltração, de modo a assegurar a estabilidade, Figura 50.

A intervenção do reperfilamento do talude deve respeitar a inclinação máxima do talude natural.

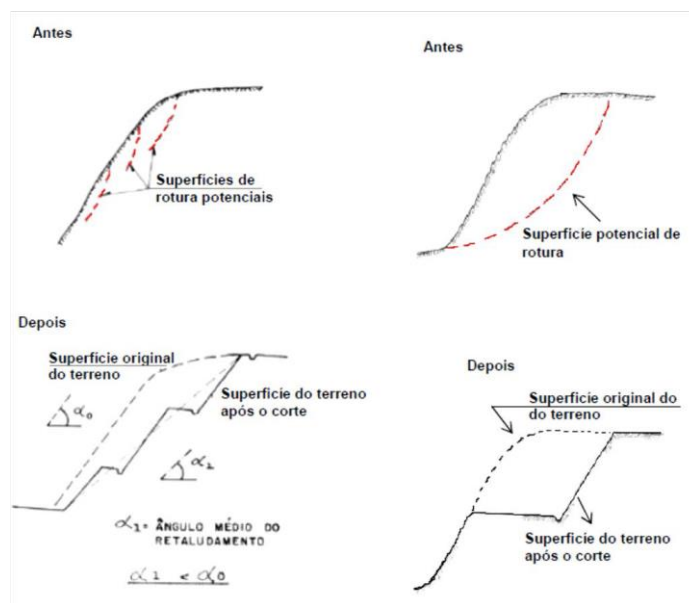


Figura 50 – Exemplos de execução de reperfilamento em taludes (Carvalho, 1991)

4.4. Medidas de suporte e contenção

As medidas de suporte e contenção têm o objetivo resistir e suportar grandes desníveis de escavação, admitindo um corte vertical. Este tipo de solução é economicamente dispendioso, sendo apenas aplicada em casos extremos.

4.4.1. Muros de gravidade em alvenaria de pedra

Os muros de gravidade em alvenaria de pedra são um método pouco usual nos dias de hoje. Este método consiste em colocar, manualmente, pedras selecionadas de forma emparelhada. A sua capacidade resistente é obtida pelo peso próprio, pelas condições e características de ligação dos elementos rochosos.

Este tipo de solução possui uma característica drenante bastante vantajosa, no entanto, existe a possibilidade de arrastamento de material fino do maciço.



Figura 51 – Muros de gravidade em alvenaria de pedra (Cype, 2017)

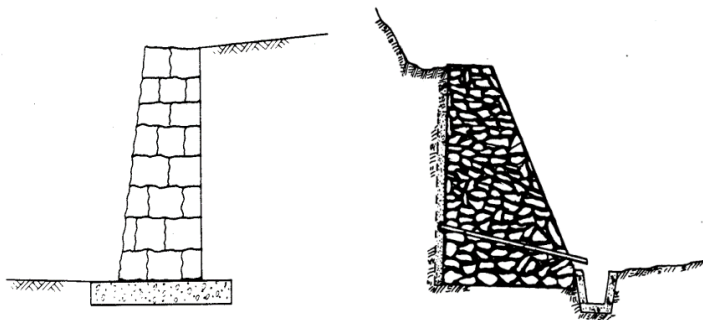


Figura 52 – Pormenor esquemático de muros de gravidade em alvenaria de pedra (Fac. Eng, 2017)

Como maior desvantagem, este tipo de muro não suporta grandes alturas, é ideal para alturas inferiores a dois metros. Para alturas superiores, deve ser previsto o muro de alvenaria em pedra argamassada.

4.4.2. Muros de gravidade em betão ciclópico

Os muros de gravidade em betão ciclópico são um método mais usual, comparativamente com o anterior. Este método consiste numa mistura de betão e blocos de pedra de várias granulometrias. A sua capacidade resistente depende das características geométricas do muro e do tipo de betão utilizado.

Este tipo de solução não suporta alturas superiores a quatro metros e necessita de drenar as águas do tardo do muro. Esta drenagem pode ser efetuada com recurso a materiais geossintéticos ou a tubos de drenagem.



Figura 53 – Muros de gravidade em betão ciclópico (Cype, 2017)

4.4.3. Muros de betão armado

Os muros de betão armado são um método muito aplicado em vários tipos de obras. Este método consiste numa conjugação de aço e betão, resultando uma estrutura resistente aos impulsos por flexão.

Este tipo de solução suporta variadas alturas, dependendo da sua geometria. Quanto à necessidade de drenar as águas, deve ser feita à semelhança do método anterior, ou seja, no tardo do muro. Esta drenagem pode ser efetuada com recurso a materiais geossintéticos ou a tubos de drenagem.



Figura 54 – Muro de suporte em betão armado (Geo-Rumo, 2018)

4.4.4. Muros de betão armado com contrafortes

Os muros de betão armado com contrafortes são um método idêntico ao anterior, no que respeita às características estruturais, adicionando resistência ao tombamento, através do recurso a contrafortes. Este método consiste numa conjugação de aço e betão, resultando numa estrutura resistente aos impulsos por flexão e compressão.

Este tipo de solução suporta alturas máximas de cinco metros, e a drenagem das águas deve ser feita à semelhança do método anterior, no tardo do muro. Esta drenagem pode ser efetuada com recurso a materiais geossintéticos e/ou tubos de drenagem.



Figura 55 – Muro de suporte em betão armado com contrafortes (SOPE engenharia, 2017)

4.4.5. Muros de gabião

Os muros de gabião são um método bastante usual em obras com objetivos distintos. Estes muros são construídos por gaiolas metálicas de arame galvanizado, cheias com pedras arrumadas manualmente de várias granulometrias. A sua capacidade resistente é obtida pelas

características geométricas e tem uma grande, capacidade de adaptação aos assentamentos diferenciais.



Figura 56 – Muro de gabião (NTC, 2018)

No caso de uma geometria em prisma retangular, designada caixa, a aplicabilidade é para muro de suporte.



Figura 57 – Gabião caixa (Geobrasil, 2018)

No caso de uma geometria em prisma fica retangular de baixa altura, designada manta, a aplica-se na preservação de taludes, revestimentos de canais, de rios, margens e plataformas de deformação.



Figura 58 – Gabião manta (Geobrasil, 2018)

A geometria cilíndrica, designada de saco, Figura 59, aplica-se em obras de emergência ou obras hidráulicas que requerem uma intervenção rápida.



Figura 59 – Gabião saco (Geobrasil, 2018)

4.4.6. «Crib walls»

Os muros «Crib walls», Figura 60, são um método pouco usado comparado com os anteriores. Este método consiste na montagem de componentes pré-moldados de betão aramado, cujo interior é preenchido com material granular. Estas estruturas têm como característica uma maior resistência ao assentamento.



Figura 60 – Muro «Crib walls» (RPC contracts, 2018)

4.4.7. Muros de sacos de solo-cimento

Os muros de sacos de solo-cimento são uma solução pouco utilizada, aplicando-se mais como medida preventiva/ou de emergência. Este método consiste numa mistura de cimento com solo, em traço de 1:10 a 1:15 (em volume), ensacado em sacos de poliéster ou semelhantes. A sua capacidade de suporte é insignificante, tendo apenas características resistentes à erodibilidade. Na Figura 61 pode ver-se um exemplo deste tipo de proteção.



Figura 61 – Muro de sacos de solo-cimento (Cimento montes claros, 2018)

4.4.8. Pregagens

O sistema de contenção de taludes com pregagens e betão projetado é uma solução adotada quando as condições do talude e o material que o constitui permitem. Utiliza-se varão de aço, fibra de vidro, entre outras, injetadas ou não com calda de cimento ou resinas com a ajuda de métodos de furação adaptados às condições do terreno.

O betão é projetado com espessuras variáveis, por via seca ou por via húmida, utilizando equipamentos apropriados.

Esta técnica, de utilização de tirantes de aço, também pode ser usada em paredes de betão, de forma a resistir a solicitações de corte e de tração. A sua capacidade resistente é obtida pelas condições e características do betão, do aço e do material na zona estável do talude. A grande vantagem deste método é que pode ser aplicado em grandes alturas.



Figura 62 – Aplicação de tirante de aço do método de pregagens (Ancorporgrup, 2016)

4.4.9. Parede tipo Berlim

A parede tipo Berlim, à semelhança das pregagens, também é transversal a vários tipos de aplicação. Este método consiste na colocação de perfis metálicos verticais, com

espaçamentos definidos em projeto, entre os perfis são colocados painéis de betão armado ou pranchas de madeira.

A sua capacidade resistente é obtida pelas condições e características do betão, do aço e do solo.

Na Figura 63, pode ver-se um muro de Berlim durante a sua execução.

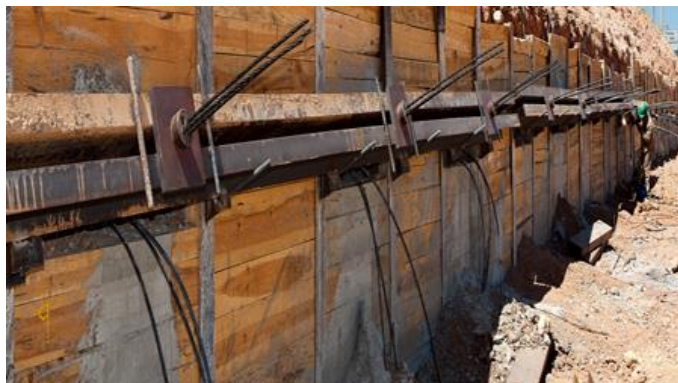


Figura 63 – Execução dos muros de Berlim (Indubel, 2018)

4.4.10. Cortina de estacas

A cortina de estacas é um método usado em obras onde é necessário aumentar a resistência existente no maciço. Este método consiste na colocação de estacas de forma contínua e tangencial, de modo a atravessar e conter a área de instável.

As estacas são constituídas por betão armado de diâmetro e altura adequadas às ações de serviço. A capacidade resistente é obtida pelas condições e características do betão, do aço e do solo. Na Figura 64, pode observar-se a execução de estacas.



Figura 64 – Execução de estacas (MA fundações, Lda., 2014)

4.4.11. Paredes Ancoradas

Este método consiste na colocação de cabos de aço numa parede de betão armado, de forma a resistir a solicitações por corte e por tração, fornecendo uma força adicional contrária à direção do movimento. A capacidade resistente é obtida pelas condições e características do betão, do aço e do solo. Como grande vantagem, este método suporta grandes alturas.



Figura 65 – Parede com ancoragem (ESO, 2017)

4.5. Medidas de engenharia natural

As medidas de engenharia natural são um método de tratamento que tem como primeiro objetivo a recuperação e valorização ecológica e paisagística das áreas degradadas. Com recurso a materiais locais e vegetações autóctones, este método garante a adaptabilidade da solução ao meio onde se insere, sem impacte nas características físicas e biológicas do local.

As áreas de intervenção deste método são muito variadas e constituem exemplos os tratamentos em vias de comunicação, linhas de água, infraestruturas enterradas, recuperação de áreas ardidas, taludes e muros de suporte naturais, aterros sanitários, áreas urbanas, controlo de sedimentação, sistemas dunares, lagos, bacias de retenção e outros reservatórios e, por fim, áreas extrativas.

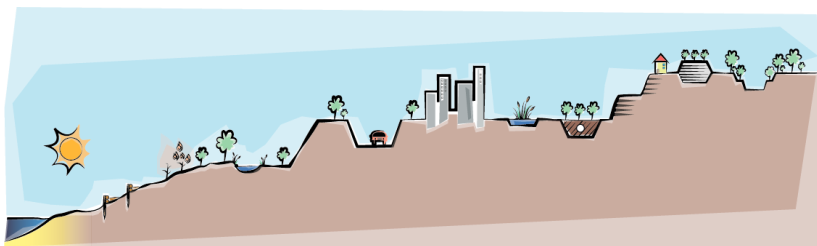


Figura 66 – Várias áreas de intervenção de forma esquemática (EcoSalix, 2007)

As soluções propostas por este método integram-se em áreas como a engenharia civil, a hidráulica, a geotecnia, o ambiente e a arquitetura paisagística.

Antes de escolher o método a ser aplicado, deve haver uma análise minuciosa dos agentes causadores, de forma a escolher a solução que garanta durabilidade e previna a repetição da patologia.

João P. Fernandes e Aldo R. M. Freitas, em *Introdução à Engenharia Natural*, de 2011, apresentam o esquema da Figura 67 sobre a aplicabilidade das soluções de engenharia natural, nas várias fases de gestão dos sistemas hidrológicos.

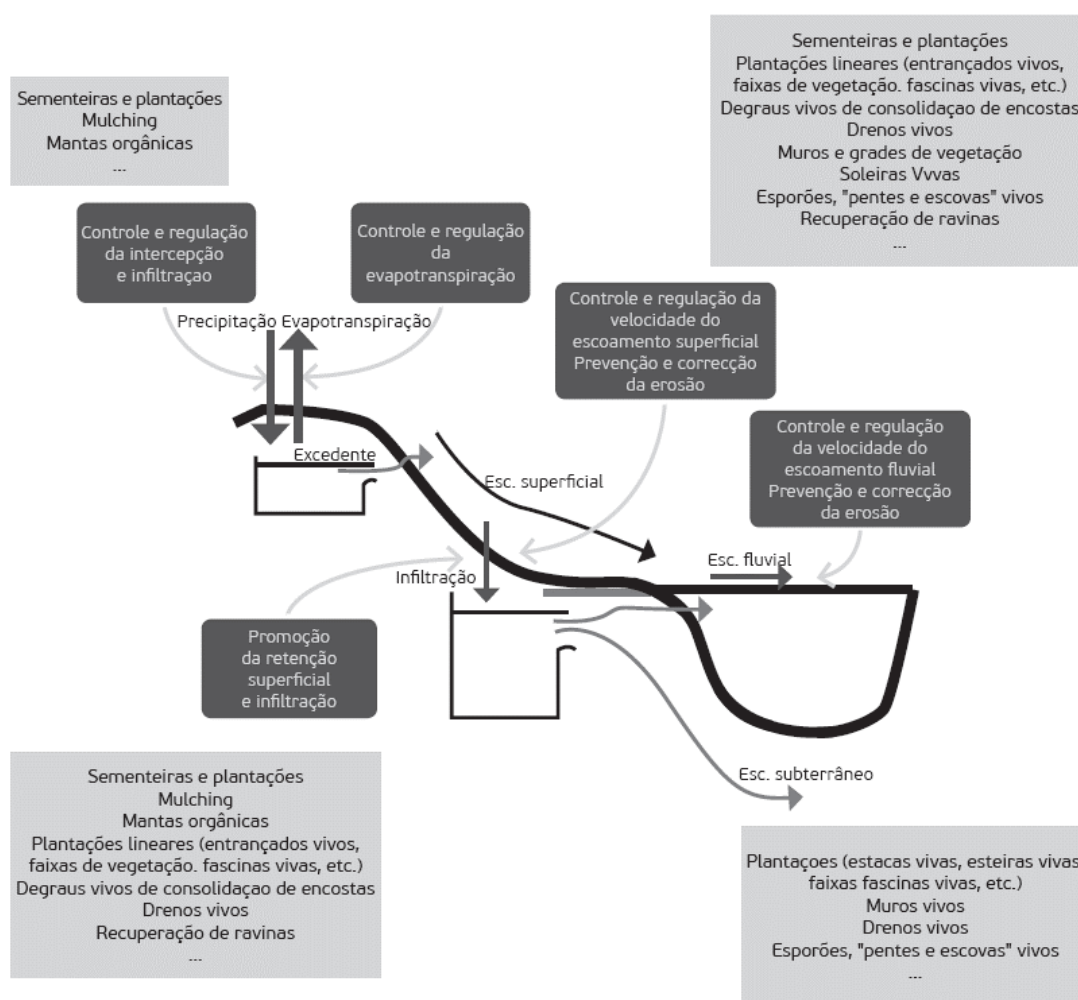


Figura 67 – Intervenções de Engenharia Natural para a gestão dos sistemas hidrológicos (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Nos subcapítulos seguintes, são abordados os vários métodos de tratamento de áreas degradadas de forma sintética, no que respeita à metodologia, aos materiais, ao processo construtivo, à manutenção e às vantagens e desvantagens.

4.5.1. Sementeira

O método de sementeira é um processo de tratamento caracterizado pelo crescimento rápido das espécies semeadas. Este método é aplicado em áreas suscetíveis à erosão, uma vez que a proteção do talude com cobertura vegetal diminui, por exemplo, a velocidade dos agentes hídricos e absorve o impacto das gotas da precipitação. A cobertura vegetal também influencia a infiltração da água no solo, reduzindo o possível aumento de pressões neutras.

O processo de aplicação consiste em espalhar, por lançamento, manual ou com recurso a equipamentos, as sementes, de forma a cobrir toda a área de intervenção.

A sementeira deve ser de sementes herbáceas autóctones, sendo executada no início e durante a época vegetativa. Como manutenção deve efetuar-se regas periódicas, podas e cortes de acordo com a necessidade (Fernandes & Freitas, 2011).

Na Figura 68, pode-se observar a aplicação manual do método de sementeira.



Figura 68 – Método de sementeira (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Na tabela 8 estão indicadas as vantagens e desvantagens da técnica de sementeira.

Tabela 8 – Vantagens e desvantagens da técnica de sementeira (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de sementeira	
Vantagens	Fácil execução, pessoal não qualificado, crescimento rápido e baixo custo de execução.
Desvantagens	Proteção apenas superficial, é necessária a presença de sementes arbustivas e arbóreas para uma proteção do talude em profundidade.

4.5.2. Hidrossementeira

O método de hidrossementeira, à semelhança do método anterior, é caracterizado pelo crescimento rápido das espécies plantadas. No entanto, este método não obtém resultados satisfatórios em ambientes áridos com períodos secos, pelo que é mais frequente a sua utilização em margens fluviais que necessitam de proteção contra a erosão.

O processo de aplicação consiste em projetar sobre a superfície do solo uma mistura composta por água com *mulch* (fibras de madeira), sementes, fertilizantes e corretivos/aditivos biológicos do solo.

A execução deverá ser no início e durante a época vegetativa, tendo manutenções periódicas de regas, podas e cortes de acordo com as necessidades (Fernandes & Freitas, 2011).

Na Figura 69, pode observar-se a execução do método de hidrossementeira.



Figura 69 – Aplicação manual do método de hidrossementeira (Verdetec Brasil, 2016)



Figura 70 – Mistura mulch para hidrossementeira (Sementes Caiçara, 2016)

Na Tabela 9, estão indicadas as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 9 – Vantagens e desvantagens da técnica de hidrossementeira (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de hidrossementeira	
Vantagens	Elevada taxa de germinação e cobertura homogénea; Elevada força de tensão; absorvem mais a energia dos impactes; Processo rápido e eficaz que diminui a mão de obra; Maior poder de absorção de água; Permite a execução de sementeiras em zonas de difícil acesso.
Desvantagens	Resultados pouco eficazes em zonas áridas e períodos secos; Longo período de execução; Durante o início do período vegetativo.

4.5.3. Estacaria viva

O método de estacaria viva, Figura 71, é aplicado, normalmente, em taludes e margens de baixo declive. Além da função de proteção superficial do talude, a estacaria viva funciona como elemento fixador, no caso da aplicação de mantas orgânicas. No entanto, este método, é mais aconselhado em pequenas reparações do que em solos com graves problemas de erosão. A combinação da estacaria viva com a manta orgânica resulta numa proteção de talude superficial (manta orgânica) e de média profundidade (estaca viva).

O processo de aplicação consiste na utilização de troncos ou ramos com mais de 3 anos, casca fina, sem ramagem lateral nem estrias. O comprimento deve estar compreendido entre 40 e 100 cm e o diâmetro entre 2 e 8 cm. As estacas devem ser afiadas numa das

extremidades e cravadas no solo. Este método pode ser aplicado em solo ou em enrocamentos e muros de gabião, contudo, tem de se assegurar que o comprimento permite penetrar no solo subjacente.

As estacas vivas podem ser de salgueiro, tamargueira, loendro, choupo, freixo, entre outras espécies. A aplicação deve ser efetuada durante o repouso vegetativo, tendo uma manutenção cuidada de podas nos primeiros tempos, para desenvolvimento radicular das estacas, e cortes e desbastes para garantir a elasticidade das plantas e controlar o seu desenvolvimento (Freitas, 2011).



Figura 71 – Aspeto final do método de estacaria viva (EcoSalix, 2007)

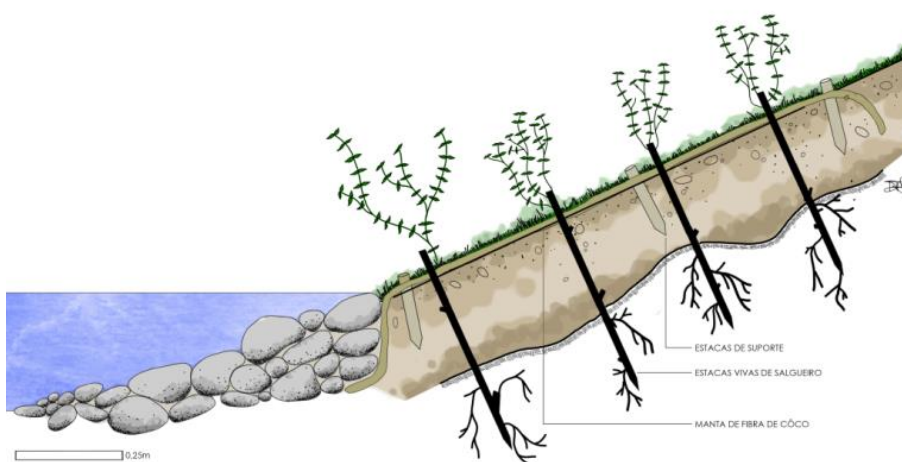


Figura 72 – Detalhe construtivo (Rios+, 2016)

Na Tabela 10 apresenta-se as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 10 – Vantagens e desvantagens da técnica de estacaria viva (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de estacaria viva	
Vantagens	Baixo custo; Facilidade de recolha de material; Execução simples; Ação muito eficaz após o desenvolvimento das estacas vivas (6 meses–2 anos); Favorece a evolução dos ecossistemas; O efeito estabilizante desta técnica em profundidade, aumenta consoante o comprimento da estaca.
Desvantagens	A estabilidade dos taludes e a consolidação superficial estão limitadas até ao desenvolvimento de um adequado sistema radicular.

4.5.4. Fascina viva

As fascinas, Figura 73, têm várias aplicações, como estruturas de drenagem e proteção de margens de linhas de água. No entanto, o método de fascina viva tem influência favorável no controlo da erosão e do risco de ravinamento, quando presente num talude de forma horizontal e com afastamentos de 1 m a 1,5 m. Este método segmenta o escoamento superficial, garantindo o amortecimento da energia desse escoamento. Em situações onde não existam obstáculos, ao desenvolvimento vegetal, pode combinar-se a utilização de drenos com fascinas mortas. Deste modo, esta intervenção previne a formação de ravinas nos taludes e encostas.

A fascina viva é constituída por ramos entrançados lenhosos, de espécies com grande capacidade de enraizamento, com diâmetros entre os 0,5 cm a 2 cm. Sendo esses ramos ligados por corda de sisal ou arame, de forma a garantir um rolo de diâmetro entre 15 cm a 20 cm e de comprimento entre 2 m a 4 m. Estes rolos são colocados em contacto com o solo húmido, ou enterrados de forma a permitir o desenvolvimento da vegetação.

As fascinas vivas podem ser de espécies lenhosas como salgueiros e tamargueiras, entre outras. À semelhança do método anterior, deve ser executado durante o repouso vegetativo. Não necessita de manutenções frequentes, apenas podas periódicas (Fernandes & Freitas, 2011).



Figura 73 – Aspeto final do método de fascina viva (EcoSalix, 2016)

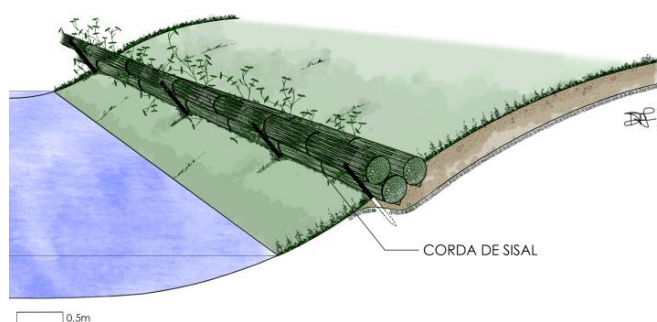


Figura 74 – Detalhe construtivo (Rios+, 2018)

Na Tabela 11, estão indicadas as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 11 – Vantagens e desvantagens da técnica de fascina viva (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de fascina viva	
Vantagens	Realização simples; Baixo custo; Notável eficácia estabilizante; Facilidade de recolha de material; Melhoramento imediato da ação drenante, devido ao efeito de evapotranspiração das plantas; Permitem redirecionar o sentido natural do escoamento, afastando as águas das áreas instáveis; Fornecedor de material vivo.
Desvantagens	Podas regulares; Elevada quantidade de material vivo e mão de obra.

4.5.5. Entrançados vivos

O método de entrançados vivos, Figura 75, é mais usual para proteção da erosão de margens de linhas de água. No entanto, este método, quando aplicado em taludes, permite a sua estabilização. O desenvolvimento vegetal, em forma radicular, permite uma proteção do talude em profundidade.

A aplicação em encostas contribui para a consolidação e estruturação da camada superior do solo (até 20 cm). Este método necessita de humidade para o fortalecimento das plantas. Em taludes, este método pode ser aplicado em linhas horizontais ou em losângulo.

Os entrançados vivos são compostos por troncos de madeira, ramagem viva ou estacas de espécies com capacidade de desenvolvimento vegetal, pedras e barras de aço e, à semelhança dos métodos anteriores, deve ser executado durante o repouso vegetativo. Este método tem uma manutenção fácil, necessitando de podas e cortes seletivos para garantir a elasticidade e o crescimento das plantas (Fernandes & Freitas, 2011).



Figura 75 – Aspeto final do método de entrançados vivos (EcoSalix, 2016)

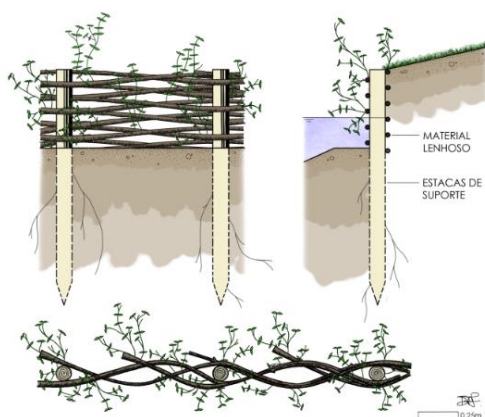


Figura 76 – Detalhe construtivo da técnica de entrançados vivos (Rios+, 2018)

Na Tabela 12, indica-se as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 12 – Vantagens e desvantagens da técnica de entrançados vivos (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de entrançados vivos	
Vantagens	Proteção imediata contra a erosão mecânica e posterior consolidação em profundidade através do desenvolvimento radicular; Facilidade de recolha de material; Após o seu desenvolvimento, funciona como fornecedor de material vivo, que poderá ser usado em outras intervenções; Apresenta resultados muito positivos no combate às cheias; Estrutura flexível e permeável.
Desvantagens	Elevada quantidade de material vivo; Com o passar do tempo, é necessário efetuar algumas tarefas de manutenção.

4.5.6. Esteira de ramagem

O método da esteira de ramagem, Figura 77, é caracterizado por uma cobertura de talude de camada densa vegetal. A aplicação deve ser perpendicular ao fluxo de escoamento superficial.

O processo construtivo consiste em estacas dispostas de forma diagonal com afastamento de 1,5 m entre si, interligadas com arame grosso esticado, conforme indicado na Figura 78. Deste modo, é garantida a fixação dos ramos soltos após serem cravados às estacas de forma definitiva. A ramagem deve ser aplicada de forma a garantir a humidade proveniente do contacto com o solo húmido. A base do talude deve ser composta por estacaria de dimensão e diâmetro adequados para absorver as cargas e permitir a redução das velocidades elevadas dos rios.

Este método é uma combinação de ramagem viva de espécies com capacidade vegetativa, troncos de madeira, pedras e barras de aço, que deve ser executado, à semelhança dos outros métodos já apresentados, durante o repouso vegetativo. Devem ser realizadas podas e cortes seletivos para garantir a elasticidade e o crescimento das plantas (Fernandes & Freitas, 2011).



Figura 77 – Durante e depois da construção do método de esteira de ramagem (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

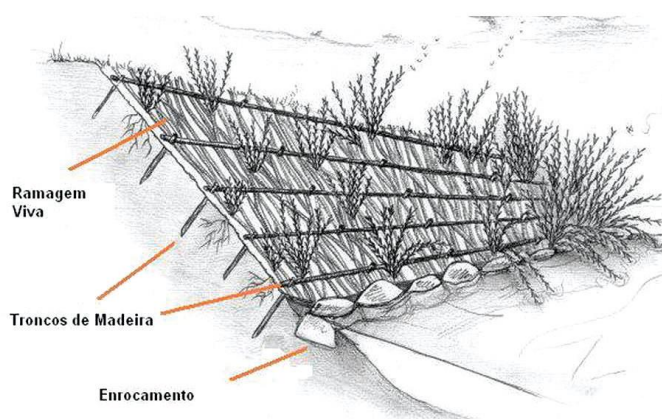


Figura 78 – Detalhe construtivo (João P. Fernandes e Aldo R. M. Freitas, 2011)

Na Tabela 13, indica-se as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 13 – Vantagens e desvantagens da técnica de esteira de ramagem (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de esteira de ramagem	
Vantagens	Proteção imediata contra a erosão mecânica e posterior consolidação em profundidade através do desenvolvimento radicular; Facilidade de recolha de material; Após o seu desenvolvimento, funciona como fornecedor de material vivo, que poderá ser usado em outras intervenções; Apresenta resultados muito positivos no combate às cheias; Estrutura flexível e permeável.
Desvantagens	Elevada quantidade de material vivo. Com o passar do tempo, são necessárias algumas tarefas de manutenção.

4.5.7. Leito de vegetação ou de ramagens

O método de leito de vegetação ou de ramagens, Figura 79, é uma técnica bastante eficaz na estabilização de encostas e taludes. Este método assegura uma reestruturação da encosta até uma profundidade de 1,5 m.

O método de aplicação consiste na construção de leitos de ramagem em forma de banquetas do fundo do talude ao coroamento. O processo inicia-se na escavação de uma banqueta de 0,5 m a 1,5 m de profundidade, e 10 % de inclinação para o seu interior. De seguida, dispõem-se os ramos de comprimento superior à banqueta, em posição perpendicular à encosta. As ramagens devem sobressair 10 cm para favorecer o desenvolvimento dos novos rebentos. Deve garantir-se as condições de humidade necessárias ao desenvolvimento vegetativo deste método. Por fim, o reaterro será efetuado com o solo proveniente da escavação da banqueta de nível superior.

Para aplicação deste método, são necessárias ramagens vivas de espécies com capacidade vegetativa, como salgueiros e tamargueiras. Deve ser executada durante o início do período vegetativo, sendo de manutenção simples, ou seja, cortes, regas e podas quando necessários (Fernandes & Freitas, 2011).



Figura 79 – Método de leito de vegetação ou de ramagens (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

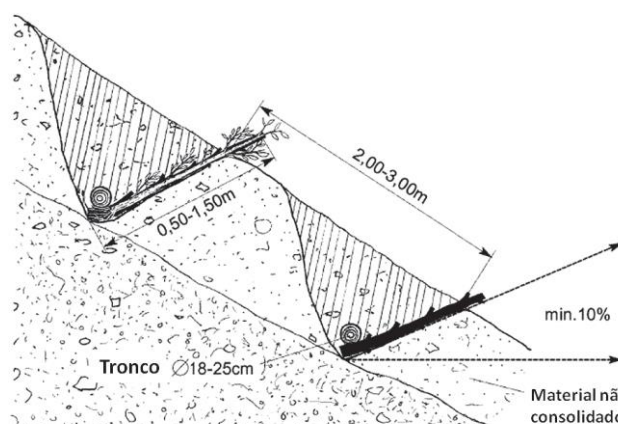


Figura 80 – Detalhe construtivo (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Na Tabela 14 estão apresentadas as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 14 – Vantagens e desvantagens da técnica de leito de vegetação ou de ramagens (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de leito de vegetação ou de ramagens	
Vantagens	Estruturação imediata da encosta até uma profundidade de 1,5 m; Rápida cobertura vegetal em caso de boa germinação e desenvolvimento vegetativo.
Desvantagens	Resultados pouco eficazes em zonas áridas e períodos secos; Poucas espécies com capacidade de estabelecimento vegetativo nas situações edafo-climáticas mediterrânicas.

4.5.8. Gabiões vivos

O método de leito de gabiões vivos, Figura 81, é uma técnica semelhante aos muros de gabião, constituído por caixotes em malha hexagonal em arame galvanizado reforçado e preenchido no seu interior com pedra. Este método, além da sua característica de suporte, desempenha funções de proteção contra a erosão. Durante o processo de enchimento, coloca-se camadas de terra vegetal e ramos com capacidade vegetativa ou plantas enraizadas.

Para construir este método, são necessários materiais como, seixo do rio ou outro tipo de pedra, arame galvanizado reforçado e estacas vivas de espécies com capacidade de reprodução vegetativa. O seu tempo de execução varia consoante a fase. A estrutura, em caixote de arame, pode ocorrer em qualquer altura, a estacaria viva e plantações deverá ser efetuada durante o período de repouso vegetativo. Em relação à sua manutenção, esta técnica

não necessita de tarefas específicas, apenas se deve ter em conta os casos em que se manifestam danos na estrutura (Fernandes & Freitas, 2011).

Na Tabela 15, estão apresentadas as vantagens e as desvantagens deste método.



Figura 81 – Aspeto final do método gabiões vivos (EcoSalix, 2016)

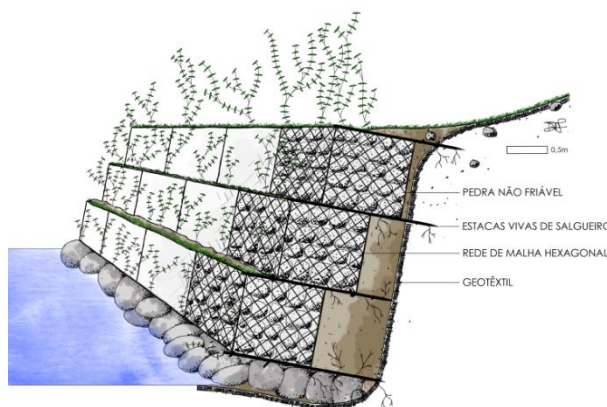


Figura 82 – Detalhe construtivo (Rios+, 2016)

Tabela 15 – Vantagens e desvantagens da técnica de leito de vegetação ou de ramagens (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011).

Vantagens e desvantagens da técnica de leito de vegetação ou de ramagens	
Vantagens	<p>Execução rápida e simples; Efeito de contenção imediato; Pode utilizar materiais locais; Flexíveis e permeáveis; Permite a ordenação de margens muito íngremes ou em zonas com espaço limitado de intervenção; Aumento da estabilidade da estrutura com o desenvolvimento radicular dos salgueiros.</p>
Desvantagens	<p>A utilização de material pedregoso não característico do local aumenta os custos; Artificialidade da estrutura.</p>

4.5.9. Terra reforçada

O método de terra reforçada, Figura 83, permite o controlo de erosão em taludes com elevada inclinação. Pode ser considerado uma estrutura de suporte, que consiste em reforçar o solo por estratificação. O solo é estabilizado, interiormente, pelo próprio peso, todavia, na parte exposta ou frontal, a proteção do talude é feita com recurso a mantas de geotêxtil e a plantação de espécies autóctones, devem ser garantidas as condições de humidade para fortalecimento da vegetação plantada.

Para este método, é necessário rede sintética ou metálica zincada e plastificada, geotêxtil orgânico ou sintético, geogrelhas de reforço, material inerte de enchimento, estacas vivas de espécies de propagação vegetativa, arbustos em torrão, hidrossementeira e painéis em rede metálica eletrossoldada. O tempo de execução varia com a fase da obra. A fase de estruturação pode ocorrer em qualquer época, enquanto a fase de estacaria viva e plantações deve ser efetuada durante o período de repouso vegetativo. A manutenção não necessita de tarefas específicas, exceto no caso de se manifestarem danos na estrutura (Fernandes & Freitas, 2011).



Figura 83 – Durante a intervenção de terra reforçada (EcoSalix, 2016)



Figura 84 – Aspeto final da intervenção com terra reforçada (EcoSalix, 2016)

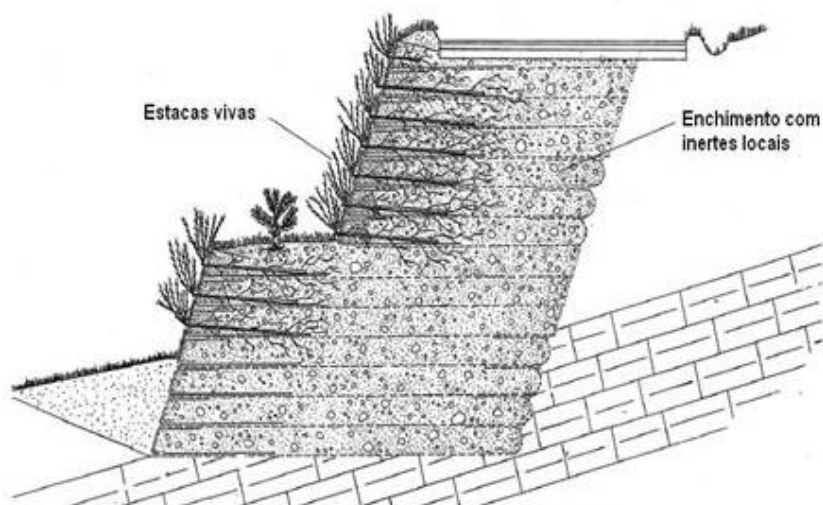


Figura 85 – Detalhe construtivo (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Na Tabela 16, estão apresentadas as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 16 – Vantagens e desvantagens da técnica de terra reforçada (João P. Fernandes e Aldo R. M. Freitas, 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de terra reforçada	
Vantagens	<p>Elevada duração temporal;</p> <p>A construção por módulos permite obter formas ilimitadas, adaptadas às condições locais do terreno;</p> <p>É a estrutura artificial com melhores condições para o estabelecimento da vegetação;</p> <p>Aplicável em locais com fortes inclinações e espaços limitados;</p> <p>Deformáveis e permeáveis.</p>
Desvantagens	<p>Elevado custo;</p> <p>Os materiais de reforço não são biodegradáveis;</p> <p>Recolha de material de enchimento com características geotécnicas conhecidas.</p>

4.5.10. Grade viva

O método de grade viva, Figura 86, é geralmente aplicado no tratamento de taludes com declives entre 45° a 55°. Este método permite a estabilização de forma superficial (30 cm a 40 cm) e aplica-se a taludes com altura até 20 m.

A aplicação deste método consiste na colocação de troncos de madeira verticais e horizontais, perpendiculares entre si, e suportados por estacas cravadas no solo. Após a construção do elemento base estrutural, são plantadas as estacas vivas, de plantas em torrão ou em raiz nua, e por fim é feito o preenchimento com solo local. Este método garante a resistência superficial até 30 cm a 40 cm e, deste modo, previne a erosão ou os deslizamentos. No entanto, devem ser garantidas as condições de humidade para o crescimento da vegetação plantada.

Para a construção por este método, são necessários troncos de madeira (10 cm a 30 cm de diâmetro), pregos ou varão de ferro roscado, arame, estacas vivas autóctones e plantas em torrão ou raiz nua. O tempo de execução depende da fase. No caso da estrutura de madeira, pode ocorrer em qualquer época do ano. A estacaria viva e as plantações devem ser efetuadas durante o período de repouso vegetativo. Em relação à manutenção, deve prever-se a substituição de estacas ou plantas caso não ocorra o devido enraizamento (Fernandes & Freitas, 2011).



Figura 86 – Várias fases do método grade viva (Engenharia verde, 2007)

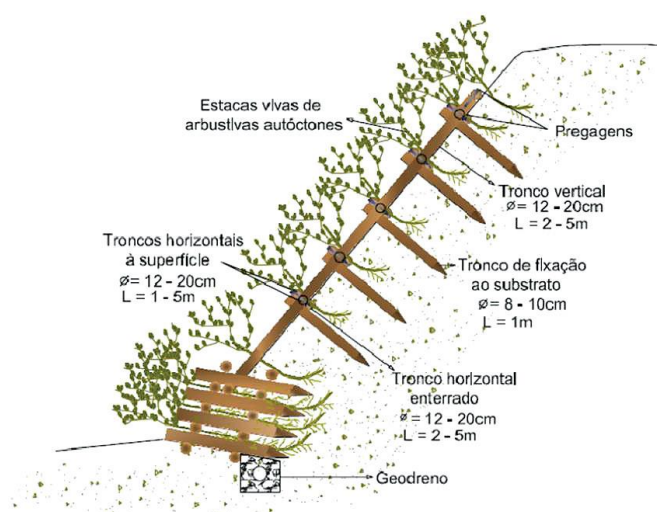


Figura 87 – Detalhe construtivo (Martinho, 2005)

Na Tabela 17, estão apresentadas as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 17 – Vantagens e desvantagens da técnica de grade viva (adaptado, Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de grade viva	
Vantagens	<p>Estabilização imediata;</p> <p>A vegetação exerce uma ação drenante, pois absorve a água necessária para o seu desenvolvimento;</p> <p>Requer pouca escavação;</p> <p>Permite o desenvolvimento de vegetação em taludes com declives muito acentuados sem a necessidade de nivelamento;</p> <p>Efeito estabilizante contínuo, que inicialmente é assegurado pela estrutura em madeira e, posteriormente, é assegurado pelo desenvolvimento radicular da vegetação.</p>
Desvantagens	<p>Método de construção intensivo;</p> <p>Difícil aplicação em substratos rochosos.</p>

4.5.11. Geotêxteis e geomalhas vivas

O método de geotêxteis e geomalhas vivas, representado na Figura 88, tem ótimos resultados quando aplicado em caso de erosão laminar ou correção de ravinamento de taludes ou encostas. Este método suporta declives de 25° a 45°, oferecendo ao solo uma resistência superficial imediata. Quando combinado com cobertura vegetal de sementeira, o método favorece o crescimento e a consolidação da vegetação até à curva descendente da medida preventiva, dando lugar à medida definitiva de cobertura vegetal. Contudo, devem ser

garantidas as condições de humidade para o crescimento das espécies plantadas, embora no caso das mantas orgânicas, seja garantido um microclima de humidade, uma vez que impede a evaporação da humidade presente na manta.

O procedimento para a aplicação consiste em revestir de forma superficial o talude com elementos de suporte, que garantem a fixação ao solo (agrafes ou estacas).

Os materiais necessários para realização deste método são:

- Biomantas – as fibras estão desagregadas, mas acondicionadas por um material estruturante (geralmente rede ou outro tecido de degradabilidade variável), comprimido de modo a constituir um todo homogéneo mesmo sem o invólucro).
- Biotecidos – as fibras estão entrançadas.
- Biorredes – as fibras individuais estão ligadas (por nós ou agrafes) nos seus pontos de contacto).

No entanto, «Existem mantas numa grande diversidade de materiais: fibra de coco, juta, palha, esparto, etc., combinadas ou não com redes ou malhas estruturais sintéticas (e.g., polipropileno) ou metálicas. Em situações de controlo do escoamento superficial empregam-se, também, redes de juta, esparto ou fibra de coco» (Fernandes & Freitas, 2011).

A construção deste método combinado deve ocorrer durante a época de repouso vegetativo, sendo apenas necessária a vigilância da estabilidade da estrutura de pregagem para a sua manutenção.



Figura 88 – Durante a aplicação da Biomanta (EcoSalix, 2016)



Figura 89 – Aspeto final da aplicação da Biomanta (EcoSalix, 2016)

Na Tabela 18, apresenta-se as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 18 – Vantagens e desvantagens da técnica de geotêxteis e geomantas vivas (Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de geotêxteis e geomantas vivas	
Vantagens	Execução simples e rápida; Ação protetora imediata; Ação filtrante muito eficaz; Elasticidade e permeabilidade.
Desvantagens	Durabilidade limitada no tempo.

4.5.12. Barreiras de contenção do solo

O método de barreiras de contenção do solo, Figura 90, é uma técnica bastante usada em áreas ardidas e despidas de cobertura vegetal. Utiliza-se os troncos ardidos para construção de barreiras de contenção, de forma a aglomerar os solos arrastados. Estes solos são facilmente arrastados, uma vez que estão despídos de cobertura vegetal. No entanto, esta técnica também pode ser aplicada em taludes desprotegidos de cobertura vegetal.

O processo de aplicação consiste em criar barreiras perpendiculares ao escoamento superficial, de forma a receber a contribuição de solo arrastado. A barreira consiste em estacas cravadas no solo para suporte das madeiras horizontais que se assemelham com um muro em madeira.

Os materiais necessários para construção deste método são troncos de madeira com diâmetro médio, pregos, arame e varão de ferro roscado. Contrariamente aos outros métodos, este pode ser construído em qualquer momento e não necessita de manutenção (Fernandes & Freitas, 2011).



Figura 90 – Método de barreiras de contenção de solo (LIFE/GTF, 2005)

Na Tabela 19, indica-se as vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 19 – Vantagens e desvantagens da técnica de barreiras de contenção de solo (adaptado Fernandes J. P. e Freitas A. R. M., 2011)

Vantagens e desvantagens da técnica de barreiras de contenção de solo	
Vantagens	Contenção e sedimentação imediata do solo erodido; Aproveitamento de material local.
Desvantagens	Elevada quantidade de material e mão de obra.

5. Estudo de caso — Ravina 3, Morro do Tchizo, Cabinda—Angola

O estudo de caso que se apresenta está inserido no projeto de estabilização do Morro do Tchizo, Cabinda—Angola. É um projeto realizado pela empresa BDM – Engenharia e Tecnologia, Lda., para o Ministério da Construção do Governo de Angola.

O objeto de estudo denominado Morro do Tchizo é caracterizado por vários pontos críticos onde ocorreu erosão. No entanto, neste estudo de caso, apenas será abordada uma das ravinas, de nome «ravina 3».

A estrutura do estudo de caso — ravina 3, Morro do Tchizo, Cabinda—Angola — terá como tópicos:

- características físicas;
- estudos e diagnóstico;
- solução e tratamento;
- programa para prevenção e monitorização.

Por fim, serão apresentadas as conclusões e debatidos os objetivos propostos, no que respeita ao controlo, estabilização dos processos erosivos, prevenção contra novos processos e minimização dos impactes na população local.

5.1. Enquadramento territorial e administrativo

Situada na Zona Agrícola I, segundo o estudo do engenheiro Alberto Castanheira Diniz na publicação *Características Mesológicas de Angola*, de 1973, a província de Cabinda encontra-se separada do resto do território por uma faixa de 90 km de extensão que pertence à República Democrática do Congo.

Com uma superfície de 7300 km² e cerca de 716 076 habitantes, a província de Cabinda é limitada a norte e nordeste pelo Congo, a sudeste pela República Democrática do Congo e a oeste pelo Oceano Atlântico.

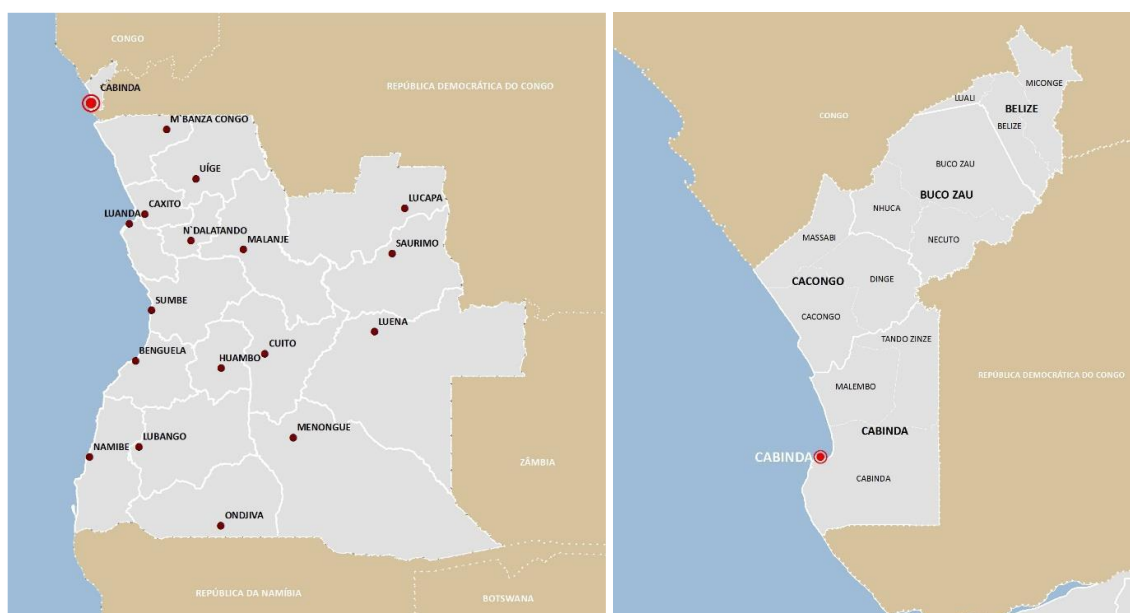


Figura 91 – Enquadramento territorial da província de Cabinda (BDM, 2017)

A província de Cabinda está dividida administrativamente em quatro municípios: Cacongo, Buco-Zau, Belize e Cabinda, sendo o último a sua capital.

O desenvolvimento urbano da cidade de Cabinda, numa fase inicial, foi marcado pelo crescimento planeado e organizado sendo uma das primeiras províncias de Angola a reger-se por um Plano Diretor Municipal. Durante a guerra de 1975 até aos dias de hoje, o crescimento populacional trouxe consequências, como a construção desordenada, a criação de bairros não estruturados e a substituição de áreas verdes (desmatação). Deste modo, essas novas áreas tornaram-se áreas de risco.



Figura 92 – Plano Geral de Cabinda (Fonte, Marques M.M., 1977)



Figura 93 – Crescimento desordenado em área de risco (BDM, 2017)

A ravina 3 está localizada no topo do Morro do Tchizo, numa área de encosta com grande ocupação populacional na sua imediação.

5.2.Clima

A província de Cabinda enquadra-se numa região de clima tropical quente. Segundo a classificação racional de Thornthwaite, o clima é megatérmico, semiárido (D) e sub-húmido seco (C₁) na peneplanície do litoral; sub-húmido chuvoso (C₂) e húmido (B₁) na área interior montanhosa, que corresponde ao Alto Maiombe.

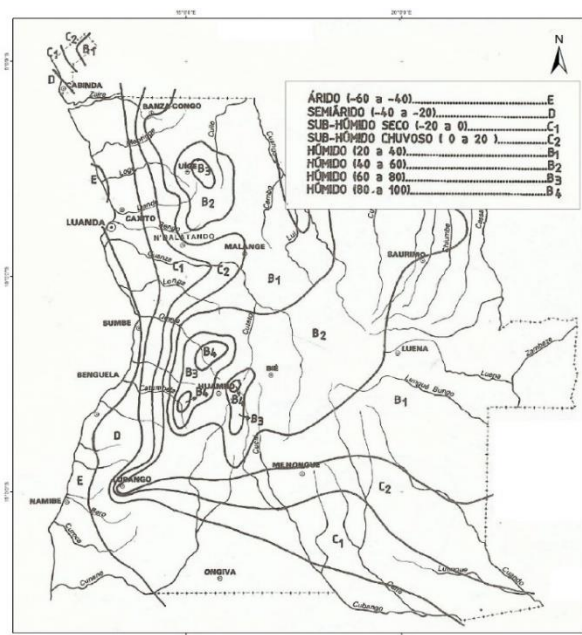


Figura 94 – Classificação Thornthwaite (Thornthwaite e Mather, 1955)

A área em estudo está enquadrada na classificação sub-húmido seco (C₁), segundo Thornthwaite.

Segundo a classificação de Koppen, o clima é tropical chuvoso de savana, com estação seca no inverno (Aw), que corresponde a todo o território de Cabinda.

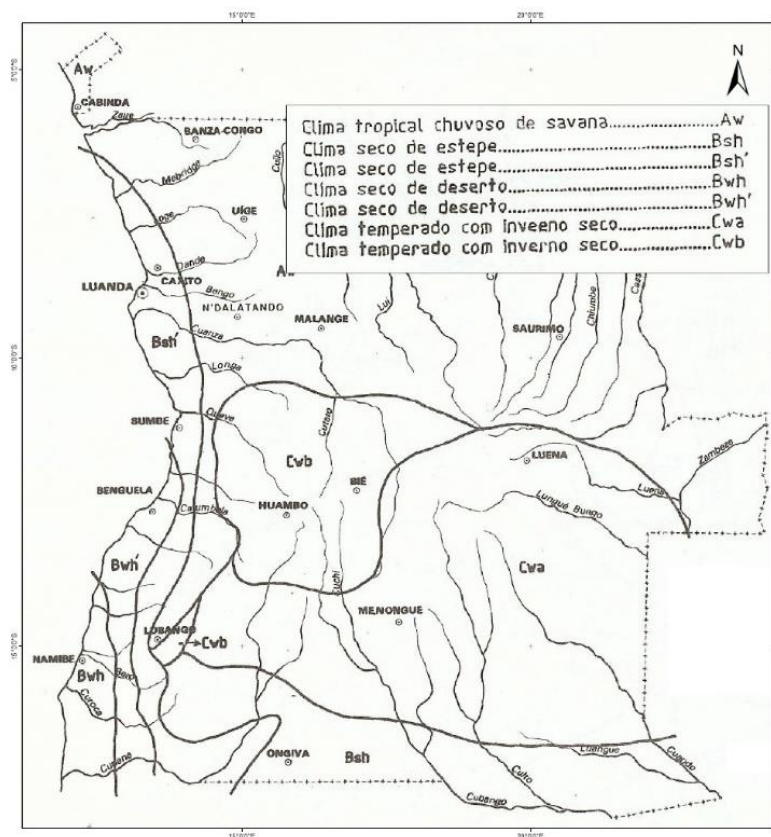


Figura 95 – Classificação Koppen (Koppen-Geiger, 1900)

Segundo o Eng. Alberto Castanheira Diniz, na província de Cabinda definem-se duas estações climáticas:

- a das chuvas, que dura seis meses no litoral (novembro a abril) e sete meses no interior (meados de outubro a meados de maio);
- seca, que dura seis meses no litoral (maio a outubro) e cinco meses no interior (meados de maio a meados de outubro).

Em geral, considera-se os meses de maio e outubro como meses de transição, podendo ocorrer, neste período, tanto chuva como seca.

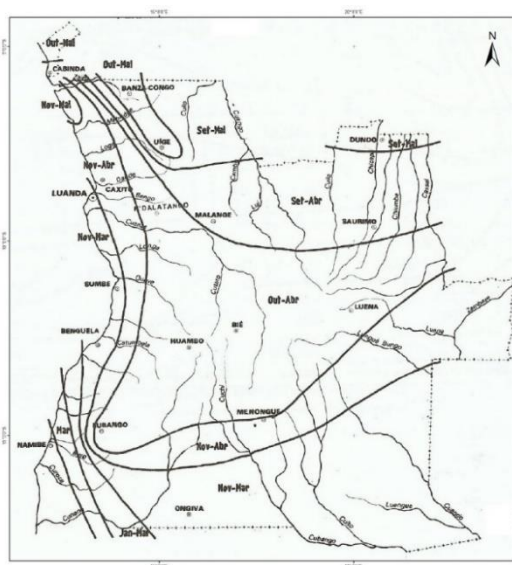


Figura 96 – Período da estação de chuva (Diniz, 1973)

5.2.1. Precipitação

A precipitação média anual da província de Cabinda oscila desde um mínimo de 800 mm, na faixa S-SW, até valores superiores a 1400 mm nas áreas de maior altitude, correspondentes à zona nordeste deste território. Os meses de novembro e abril correspondem ao pico máximo de precipitação e os meses de junho e julho correspondem ao período seco (pequeno cacimbo).

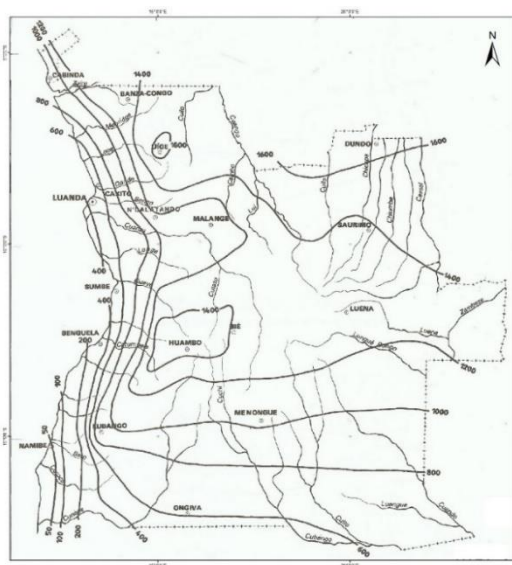


Figura 97 – Precipitação média anual em milímetros (Diniz, 1973)

A área em estudo situa-se na faixa litoral, pelo que a precipitação média anual considerada deverá ser de 800 mm.

O estudo das precipitações ainda não é uma realidade em todo o território de Angola, pelo que os dados de séries de chuvas são referentes ao período de 1961–1990, como se pode ver na Figura 98 extraída de INAMET (1990).

Estação	Coordenadas Geograficas	Período	Nº de Anos obs.	Precipitação Media (mm)													Anual
				Valores Médios Normais Climatológico (1961-90)													
				Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Cabinda	Lat. 5º 33' S Long. 12º 11' E	1961/1990	30	110,1	141,0	150,0	122,1	44,0	0,9	0,3	1,4	6,0	28,5	112,9	73,6	790,8	
Luanda	Lat. 8º 49' S Long. 13º 13' E	1961/1990	30	32,7	34,8	119,9	116,3	6,9	0,0	0,1	0,5	1,5	5,6	36,0	24,2	378,5	
Cela/W.Kungo	Lat. 11º 25' S Long. 15º 07' E	1961/1990	20	96,3	94,1	195,3	133,7	15,4	0,1	0,0	8,4	39,2	173,4	189,4	174,7	1120,0	
Porto Amb.	Lat. 10º 42' S Long. 13º 45' E	1961/1990	30	23,0	35,9	141,7	96,1	9,2	0,1	0,1	0,5	3,7	14,0	28,0	19,4	371,7	
Lobito	Lat. 12º 22' S Long. 13º 32' E	1961/1990	15	10,7	26,4	144,0	61,2	2,5	0,1	0,0	0,3	2,3	12,2	16,9	21,3	297,9	

Figura 98 – Medição de precipitação média de 1961 a 1990 (INAMET, 1990)

Com base nos dados recolhidos nas estações climatológicas/estações udométricas, localizadas em Cabinda, Landana e Buco-Zau, foram recolhidos dados de precipitação diária máxima com mais de 20 anos de registos.

No gráfico que se apresenta na Figura 99 pode ser observada uma distribuição da precipitação ao longo do ano, sendo os meses de junho e julho períodos de ausência de precipitação.

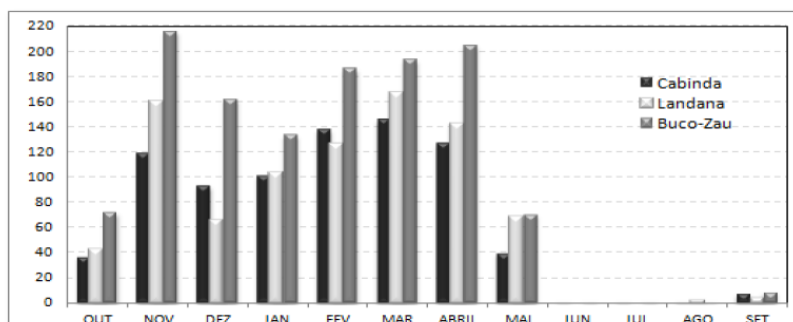


Figura 99 – Precipitações mensais médias em milímetros (13.º Congresso da água, 2016)

O número de dias de precipitação na província de Cabinda varia a sul entre 21 e 60 dias e a norte entre 61 e 100 dias.

A área em estudo está enquadrada na área urbana de Cabinda, sendo considerada a precipitação máxima de 170 mm, com ocorrência de precipitação de 61 a 100 dias.

Na Figura 100 apresenta-se uma carta com a distribuição do número de dias de precipitação no território de Angola, datada de 1973.

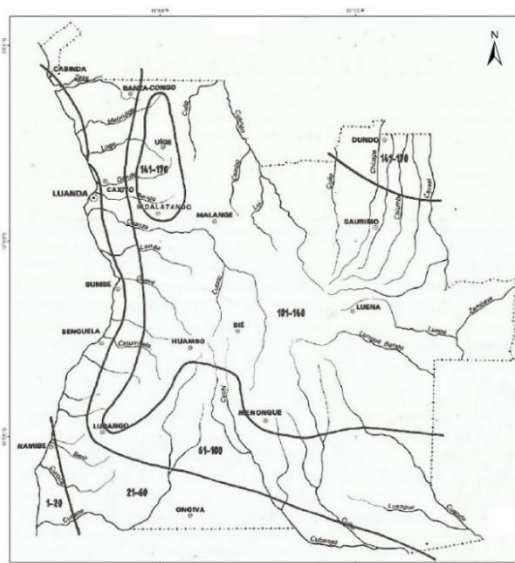


Figura 100 – Número de dias de precipitação (Diniz, 1973)

5.2.2. Geada

Na província de Cabinda, assim como em grande parte do território de Angola, a ocorrência de geada é insignificante, sendo mais significativa no interior do país a cotas acima dos 1000 m. Como se pode ver na carta apresentada na Figura 101.

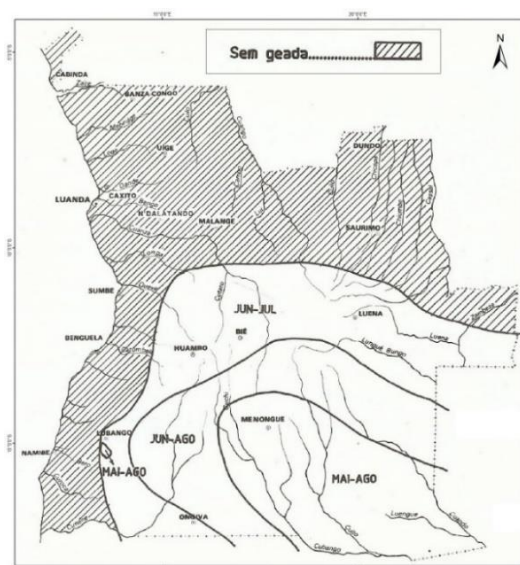


Figura 101 – Ocorrência de geada (Diniz, 1973)

5.2.3. Temperatura, humidade e insolação

A estação mais seca ou de cacimbo é caracterizada não só pelas precipitações praticamente nulas, mas também por fatores como:

- evaporação que é atenuada pela ocorrência de nevoeiros matinais;
- baixo grau de insolação;
- humidade relativa do ar muito elevada, que ao longo do ano apresenta valores médios além dos 80 %.

As cartas que se apresenta nas Figura 102, 103, 104 e 105, embora datadas de 1973, permitem a avaliação da evaporação, da insolação, amplitude térmica e amplitude da humidade no território de Angola.

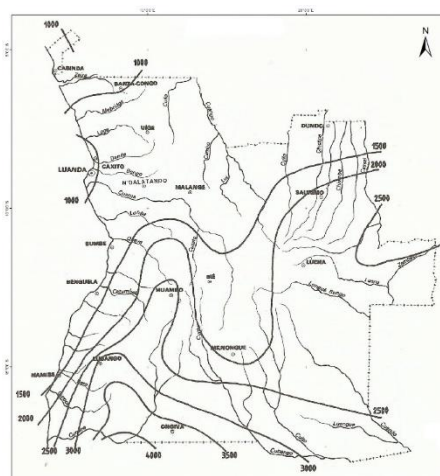


Figura 102 – Evaporação de Piche, média anual em milímetros (Diniz, 1973)

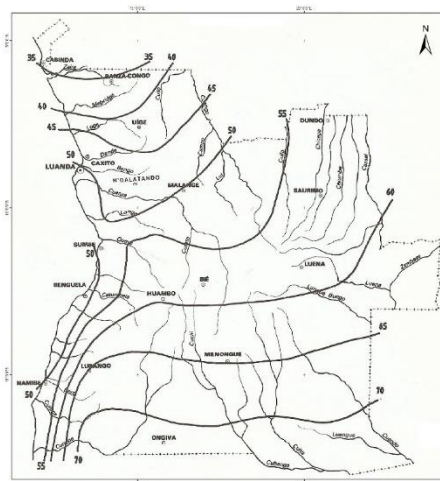


Figura 103 – Insolação, média anual em percentagem (Diniz, 1973)

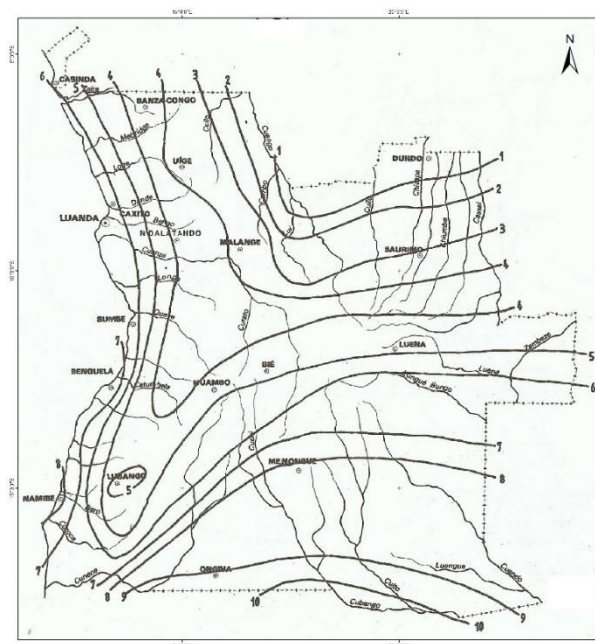


Figura 104 – Amplitude térmica média anual em graus Celsius (Diniz, 1973)

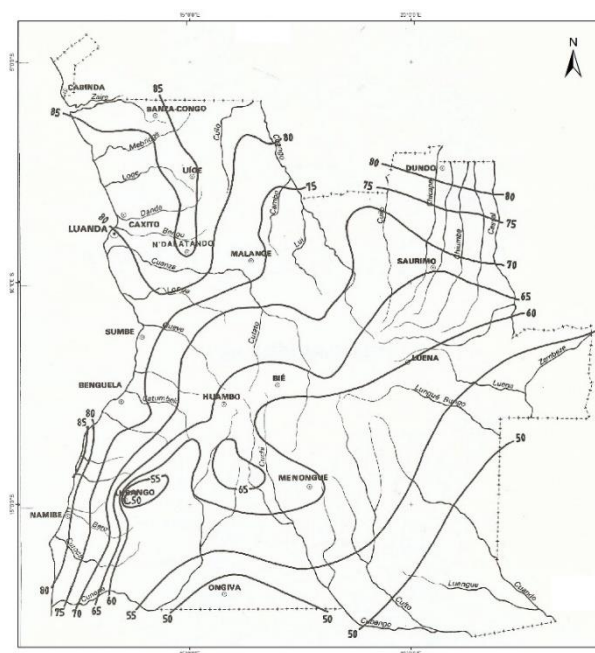


Figura 105 – Amplitude da humidade relativa média anual em percentagem (Diniz, 1973)

A temperatura média anual oscila entre os 25 °C e os 26 °C, com um mínimo em julho ou agosto (17 °C a 20 °C) e um máximo nas chuvas de março ou abril (31 °C a 32 °C). Como se pode ver na tabela e nas cartas que se apresenta nas Figura 106 e 107.

Estacao	Coordenadas Geograficas	Periodo	Nº de Anos obs.	Temperatura Media (° C)												Anual
				Valores Médios Normais Mensais Climatológico (1961-1990)												
				Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Cabinda		1961/1990	30	26,7	27,2	27,3	27,2	26,2	23,8	22,3	22,5	23,8	25,3	25,9	26,3	25,4
Luanda		1961/1990	30	26,7	27,6	27,7	27,2	26,0	23,0	21,3	21,4	22,8	24,4	25,8	26,0	25
Cela/W.Kungo		1961/1990	20													
Porto Amb.		1961/1990	30	26,0	27,0	27,0	26,8	25,2	22,2	20,6	21,0	22,2	23,8	25,4	25,5	24,4
Lobito		1961/1990	15													
Benguela		1961/1990	29	25,9	25,4	27,3	26,9	25,7	22,1	21,0	19,9	20,2	20,9	24,2	25,2	23,7
Namibe		1961/1990	29	23,0	23,8	23,8	23,3	20,3	17,6	17,6	17,4	18,7	19,7	20,6	21,8	20,6
Uige		1961/1990	23													

Figura 106 – Medição de temperatura média de 1961 a 1990 (INAMET, 1990)

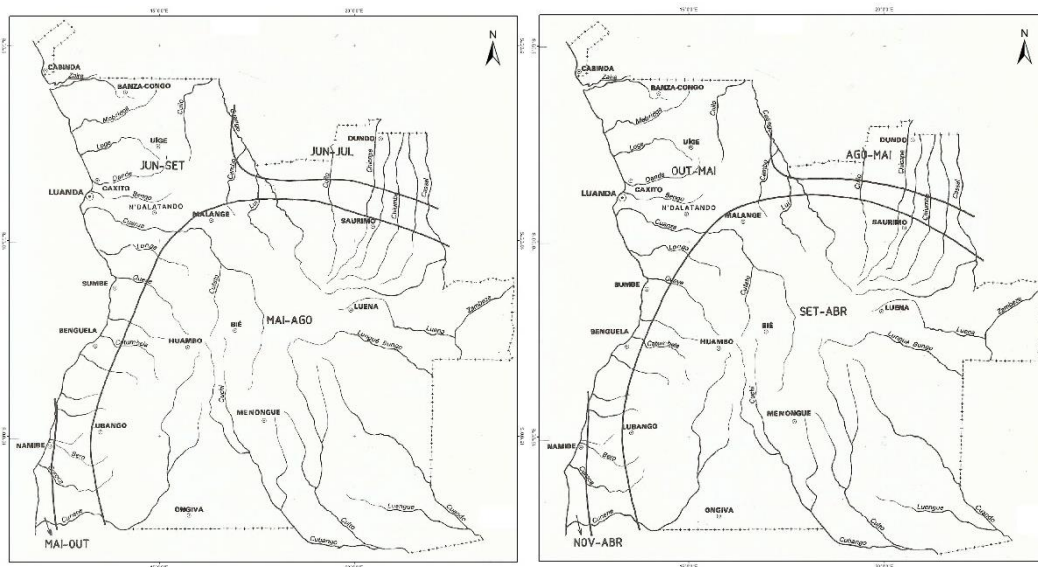


Figura 107 – Época fresca e quente em meses (Diniz, 1973)

A área em estudo reflete as características apresentadas, uma vez que, de um modo geral, a província tem um comportamento homogéneo no clima, na humidade e na insolação.

5.3. Enquadramento geológico e geomorfológico

5.3.1. Geologia

O território de Cabinda, de acordo com os estudos realizados pelo engenheiro Alberto Castanheira Diniz na publicação *Características Mesológicas de Angola*, em 1973, distingue-se em dois grandes conjuntos principais: pré-câmbrico na área montanhosa e plio-plistocénico/ceno-mesozoico na área litoral. Na Figura 108 é apresentado o esboço geológico e litológico de Cabinda.

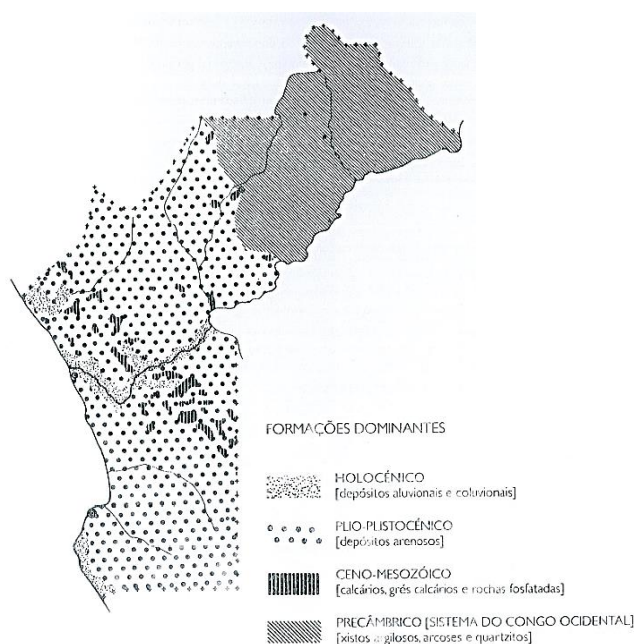


Figura 108 – Esboço Geológico e Litológico de Cabinda (Diniz, 1973)

O interior, com características montanhosas, é constituído por formações sedimentares antigas, atribuídas ao pré-câmbrico superior que no esboço geológico de Angola se englobam no sistema do Oendolongo. Litologicamente, a área pode corresponder a séries de rochas xistosas mais ou menos metamorfizadas, em que os xistos argilosos têm carácter predominante, associados a quartzitos e a arcoses. Além do descrito, podem ocorrer manchas dispersas de rochas metamórficas pertencentes ao complexo de base, nomeadamente gnaisses, granito-gnaisses e micaxistos.

A orla sedimentar litoral, que se desenvolve a partir do contacto pré-câmbrico a nordeste até à orla das praias, constitui uma importante bacia sedimentar. Esta bacia corresponde a dois terços da superfície total deste território e inclui depósitos marinhos e continentais, que se distribuem desde o Cretácico Inferior até ao Holocénico e se caracterizam pela grande diversidade litológica. O Cretácico corresponde à presença de formações estratificadas de rochas diversas, nomeadamente calcários duros, grés siliciosos, grés calcários, calcários margosos e argilas. A era Terciária está aqui representada por formações do Eocénico Inferior e Médio, com a presença de materiais mais brandos, como argilas e argilas margosas, sendo alternadas por estratos de calcários e calcários gresosos, e pelo miocénico inferior e superior. Ligado a este período, existe a ocorrência de materiais de origem sedimentar,

principalmente argilas margosas, grés argilosos, margas e siltitos, em que frequentemente ocorre a intercalação com calcários compactos ou grés calcários, com disposição em bancada. Na área litoral e ocupando quase toda a bacia sedimentar, é importante sublinhar a possante cobertura arenosa ou arenoargilosa de origem continental, atribuída ao Plio-plistocénico. Esta formação, em alguns locais, apresenta vários metros de espessura e é constituída por vários sedimentos quartzosos de coloração alaranjada que se distribuem de forma ondulada muito suave numa área vasta.

As formações mais recentes, que se englobam no Holocénico, têm origem em depósitos de origem fluvial e marinha. Esta presença é pouco significativa, localizando-se junto ao rio principal (Chiloango) e no sul da província de Cabinda ao longo da costa.

A área em estudo fica situada na área litoral no período Plio-Pleistocénico.

5.3.2. Geomorfologia

Geomorfologicamente, o território de Angola, segundo o *Esboço das unidades geomorfológicas de Angola* de Marques (1977), Figura 109 que se pode complementar com o relevo Figura 110 (Diniz, 1973), é classificado em sete unidades e oito subunidades, consoante a sua identidade de paisagem e estabilidade do meio. As unidades descritas têm em conta fatores como o relevo, a litologia, a tectónica, as bacias hidrográficas, o clima, os solos e a vegetação. Como resultado dessa classificação, foram consideradas as seguintes unidades e correspondentes subunidades:

I – Planalto Antigo – É uma extensa superfície distribuída pelas regiões do Bié, Huambo e uma estreita faixa até ao Lubango e perto do rio Cunene. Representa um resíduo de aplanção do Cretácico superior, só erguido no final do Cretácico ou início do Terciário. Constitui um meio físico supostamente estabilizado desde há muito. A relação pedogénese/morfogénese é favorável à pedogénese;

II – Cadeia Marginal de Montanhas – É representada por relevos de desníveis muito acentuados, consequência da movimentação da flexura do flanco atlântico. Situam-se aqui as maiores altitudes de Angola, atingindo cerca de 2620 metros. Esta unidade morfológica

ocorre num meio muito instável entre a região a sudeste da Gabela, oeste de Huambo, e nordeste de Lubango. A relação pedogénese/morfogénese é favorável à morfogénese;

III – Zona de Transição – Ao resultar do rejogo da flexura continental, esta grande unidade ter-se-á modelado a partir da superfície do Terciário médio. Constitui uma larga faixa paralela ao Oceano Atlântico desde o interior de Cabinda, S. Salvador, Uíge, N'Dalatando, oeste de Lubango, até ao rio Cunene. Representa vários patamares de uma só aplanção possível ou, então, aplanções mais modernas. Pode ter havido grande influência das oscilações climáticas;

IV – Orla Meridional da Bacia do Congo – Relaciona-se com a bacia hidrográfica do rio Congo ou Zaire (rios Cuango, Cassai e outros), embora inclua parte da bacia hidrográfica do médio e alto rio Cuanza. Situa-se a leste de Uíge, em Malange, Saurimo e a leste do Bié. Subdivide-se em três subunidades:

IVa – Depressão de Cassange – Corresponde a um antigo graben, sendo um meio instável onde a morfogénese predomina sobre a pedogénese;

IVb – Depressão de Cuanza–Luando – Corresponde a uma antiga zona de drenagem para o Oceano Atlântico. É um meio mais favorável à pedogénese;

IVc – Depressão do Cassai – Corresponde à região de Lunda drenada para norte, em que certos rios foram sujeitos aos efeitos de basculamento em direção à Bacia do Congo. É atualmente um meio estabilizado onde a pedogénese se sobrepõe à morfogénese.

V – Orla Setentrional da Bacia do Calaári – O relevo é condicionado pela evolução da bacia endorreica do Namibe. A drenagem processa-se pelos rios Cunene, Cubango e Cuíto. Subdivide-se em três subunidades:

Va – Depressão Endorreica do Cuvelai–Lueque – É uma região residual da aplanção do Terciário médio, coberta por espessos depósitos arenosos eólicos. Admite-se que se encontre estabilizada. Por tal razão, o equilíbrio pedogénese/morfogénese;

Vb – Bacia do Cubango – Semelhante à anterior, encontra-se estabilizada há mais tempo, favorecendo a pedogénese;

Vc – Depressão do Cunene – Área depressionária condicionada pela captura para o Oceano Atlântico no Quaternário antigo. Parece identificar-se com IVb em alguns aspetos.

VI – Bacia do Zambeze – Toda a região relacionada com esta unidade é drenada pelo rio Zambeze e seus afluentes Lungué-Pungo e Cuando. É um meio estável relativamente recente. Distingue-se apenas uma subunidade:

Via – Maciço do Alto Zambeze – É caracterizado como um relevo estabilizado há muito, onde a relação pedogénese/morfogénese é favorável à pedogénese.

VII – Orla Litoral – Constitui a região contígua ao Oceano Atlântico que a norte de N'Gunza Cabolo (Sumbe) até Cabinda apresenta uma largura de 100 a 200 km. É uma região de aplanção recente devido à abrasão marinha a oeste e ao recuo da escarpa litoral a leste. Está em equilíbrio a relação pedogénese/morfogénese. No seu extremo sul, evidencia-se a subunidade seguinte:

VIIa - Deserto de Namibe (Moçâmedes).

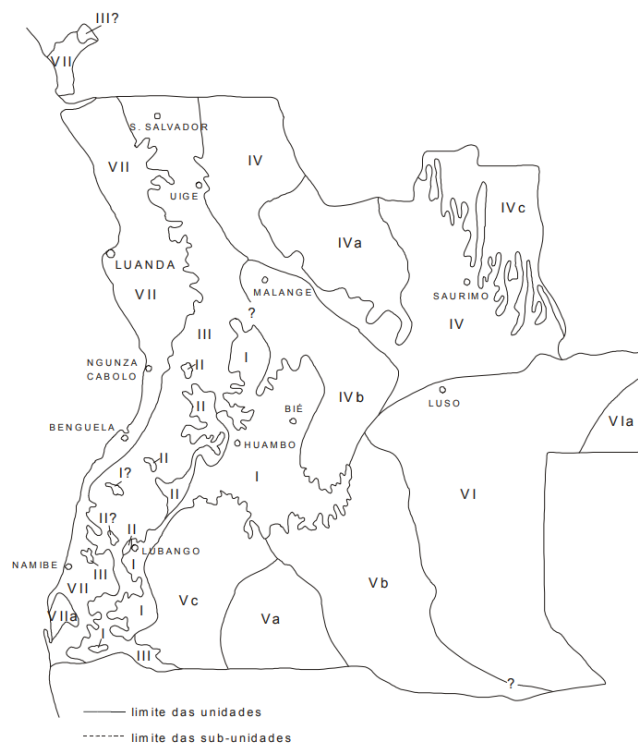


Figura 109 – Mapa geomorfológico de Angola (Marques, 1977)

A geomorfologia da província de Cabinda está dividida em duas áreas distintas, a orla litoral (VII) e a zona de transição da planície do Maiombe (III).

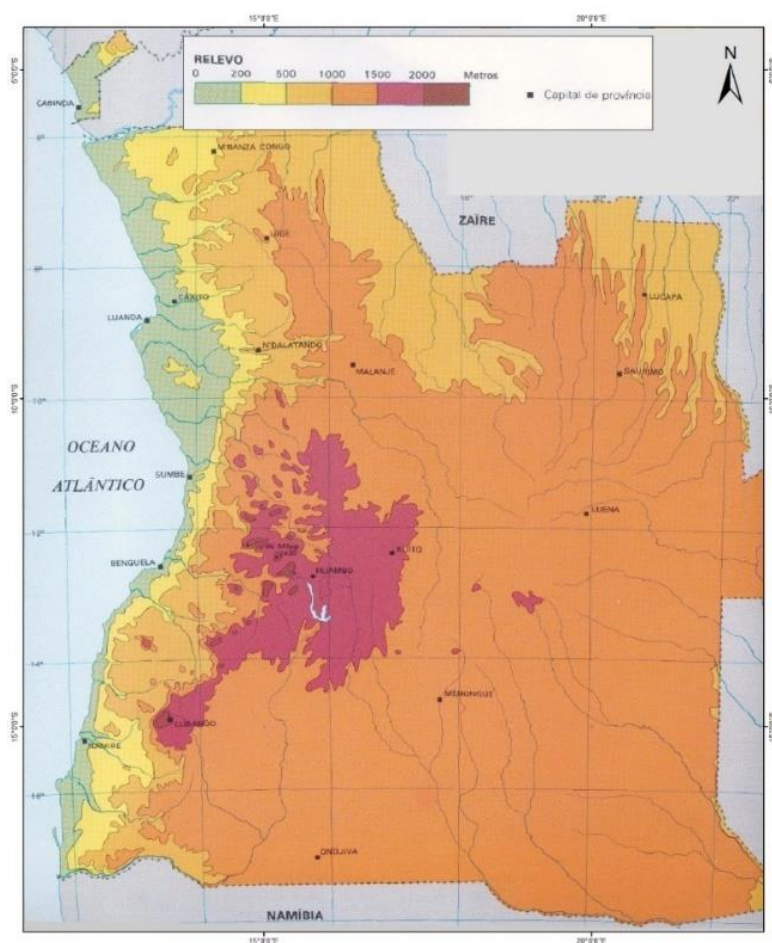


Figura 110 – Geomorfologia de Angola (Diniz, 1973)

A área em estudo enquadra-se na orla litoral, sendo caracterizada por ondulação muito suave no interior e áreas de encosta junto ao litoral. O objeto de estudo encontra-se no limiar da transição, ou seja, na área de encosta.

5.3.3. Tectónica

Angola, do ponto de vista tectono-estratigráfico, está situada na placa aulacógeno do Congo ocidental. Segundo a *Carta Geológica de Angola à escala 1:1 000 000*, esta placa caracteriza-se por uma grande estabilidade tectónica.

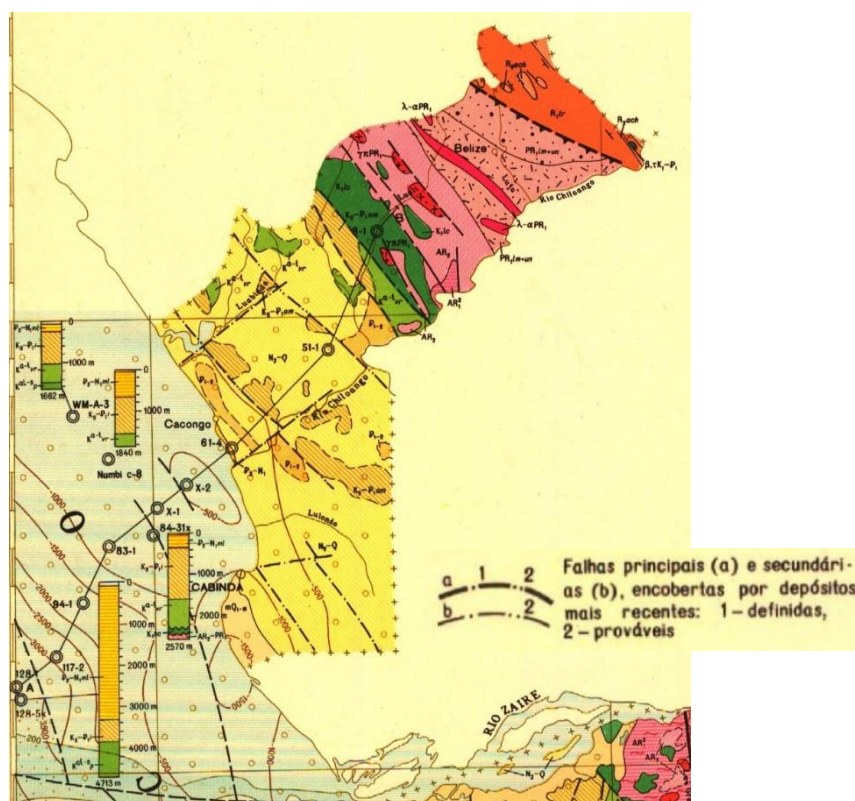


Figura 111 – Extrato da Carta Geológica de Angola à escala 1/1 000 000 (INEG - Instituto Nacional de Geologia, 1988)

No entanto, a área em estudo apresenta falhas principais e secundárias, encobertas por depósitos mais recentes, contudo, nenhuma afeta diretamente a área em estudo.

AULACÓGENO DO CONGO OCIDENTAL		
ZONAS NORTE E SUL		LEVANTAMENTO M'BRIDGE
V_{in}	Supergrupo Congo Ocidental - Grupo Xisto-Gresoso	Formação Inkisi. Arcoses, grauvaques, conglomerados
V_{mp}		Formação M'Pioka. Arcoses, xistos argilosos, grés, conglomerados, calcários
		R_5-Vmb Formação M'Bridge. Conglomerados, grauvaques, grés
		calcários estromatolíticos, xistos: argilosos, argilo-calcários, silicificados; "tilóides", grés
R_{2ach}	Supergrupo Congo Ocidental	Grupo Alto-Chiloango. "Tilóides", calcários estromatolíticos, xistos argilosos, grauvaques, arcoses, grés, quartzitos
R_{1tr}	Supergrupo Congo Ocidental	Grupo Terreiro. Xistos argilo-calcários e argilosos com intercalações de quartzitos e siltitos, grés, grauvaques, calcários com cheerts

Figura 112 – Legenda da Carta Geológica de Angola à escala 1/1 000 000 (INEG - Instituto Nacional de Geologia, 1988)

5.4. Hidrologia

O município de Cabinda possui uma importante e vasta rede hidrográfica, constituída pelos rios: Lulondo, Lualo, Fubo, Lucola e Luango, sendo este fronteira com o município de Cacongo.

Além destes, existe uma vasta presença de lagoas e pântanos, que se encontram, principalmente, em áreas depressionárias.

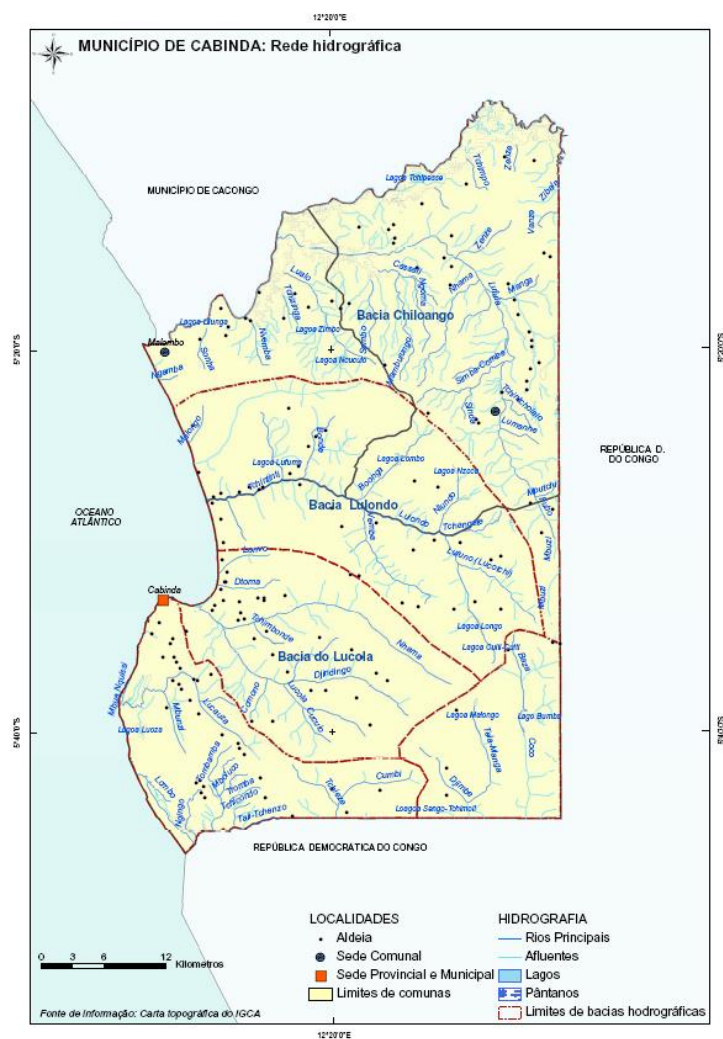


Figura 113 – Rede hidrográfica do município de Cabinda (IGCA, 2007)

A área em estudo é caracterizada, na sua maioria, pelo escoamento superficial, estando diretamente ligada à bacia hidrográfica do rio Lucola.

De uma forma geral, os leitos dos rios são caracterizados por terem origem natural, não confinada e facilmente galgável em época de chuvas durante o pico de cheia. Durante o período de seca, o escoamento superficial é nulo ou inexistente, verificando-se um rebaixamento do nível da água do rio. Na Figura 114 pode ver-se um ponto de descarga de uma destas linhas de água.



Figura 114 – Vista panorâmica no ponto de descarga (BDM, 2016)

5.5.Solos

O solo da província de Cabinda resulta da natureza da rocha-mãe e da grande variabilidade litológica existente em toda a província. Segundo o engenheiro Alberto Castanheira Diniz, é de destacar o papel do clima na influência da sua formação e evolução.

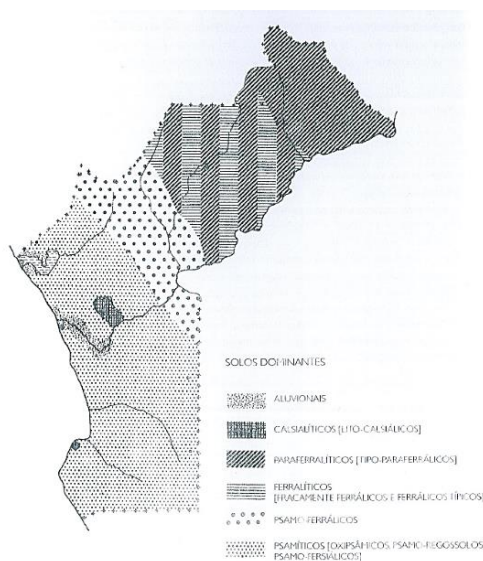


Figura 115 – Esboço pedológico dos solos de Cabinda (Diniz, 1973)

Refere, na carta mesológica de Angola, que esta zona climática se caracteriza por uma estação quente e húmida com pluviosidade mais ou menos acentuada, alternando com um expressivo período sem chuvas. O processo genético conhecido por ferralitização preside à formação e evolução dos solos, cuja fração argilosa é essencialmente constituída por caulinite e sexquióxidos de ferro e quase sempre também de alumínio.

No entanto, as áreas montanhosas e, sobretudo, as áreas correspondentes às formações xistosas e granito-gnáissicas pré-câmbricas constituem um meio em que a ferralitização tem pleno domínio. Por vezes o grau de intensidade do processo está relacionado com fatores, como a constituição mineralógica do material rochoso e o relevo. Nas formações de rochas cristalofílicas argiláceas e gnáissicas, que estão integralmente em contacto com climas tropicais húmidos e sub-húmidos onde a humidade relativa é muito elevada ao longo do ano ocorrem, fundamentalmente, dois tipos de solos os ferralíticos e os paraferalíticos.

A área em estudo está situada na faixa sedimentar do litoral e mantendo-se, o critério de relacionar a distribuição geográfica dos solos com os aspetos geológicos e climáticos temos a considerar as principais unidades pedológicas representadas na região baixa litorânea a qual se identifica com a bacia sedimentar de Cabinda, Figura 116, e com climas tropicais sub-húmidos e semiáridos mas de humidade relativa muito elevada ao longo do ano.

Aqui, a diversidade de material litológico reflete-se pela ocorrência de agrupamentos de solos morfologicamente bastante heterogêneos. Assim, e com mais destacada representação, há a mencionar os solos de texturas grosseiras, nos quais a percentagem de areia quartzosa é geralmente superior a 85 % e cuja distribuição coincide com a cobertura arenosa plio-plistocénica.

Pode, também, ter importância na estabilidade dos taludes a existência de barros negros, que na província é de carácter esporádico, relacionado com locais com determinadas condições topográficas e de rocha-mãe argilosa não-consolidada. São solos argilosos, de argila fortemente sialítica, principalmente montmorilonite de cor negra ou cinzenta muito escura. Ao secar abrem largas e profundas fendas e são, em geral, «bastante compactos, muito pegajosos elásticos, sendo bem característica a estrutura prismática das camadas subjacentes.» em carta mesológica de Angola.

Os solos aluvionares e os solos hidromórficos localizam-se em zonas baixas ou de orla costeira merecem aqui referência pelo seu comportamento quando sujeito a cargas.

É importante assinalar que é rara a presença de afloramentos rochosos na faixa litoral em estudo.

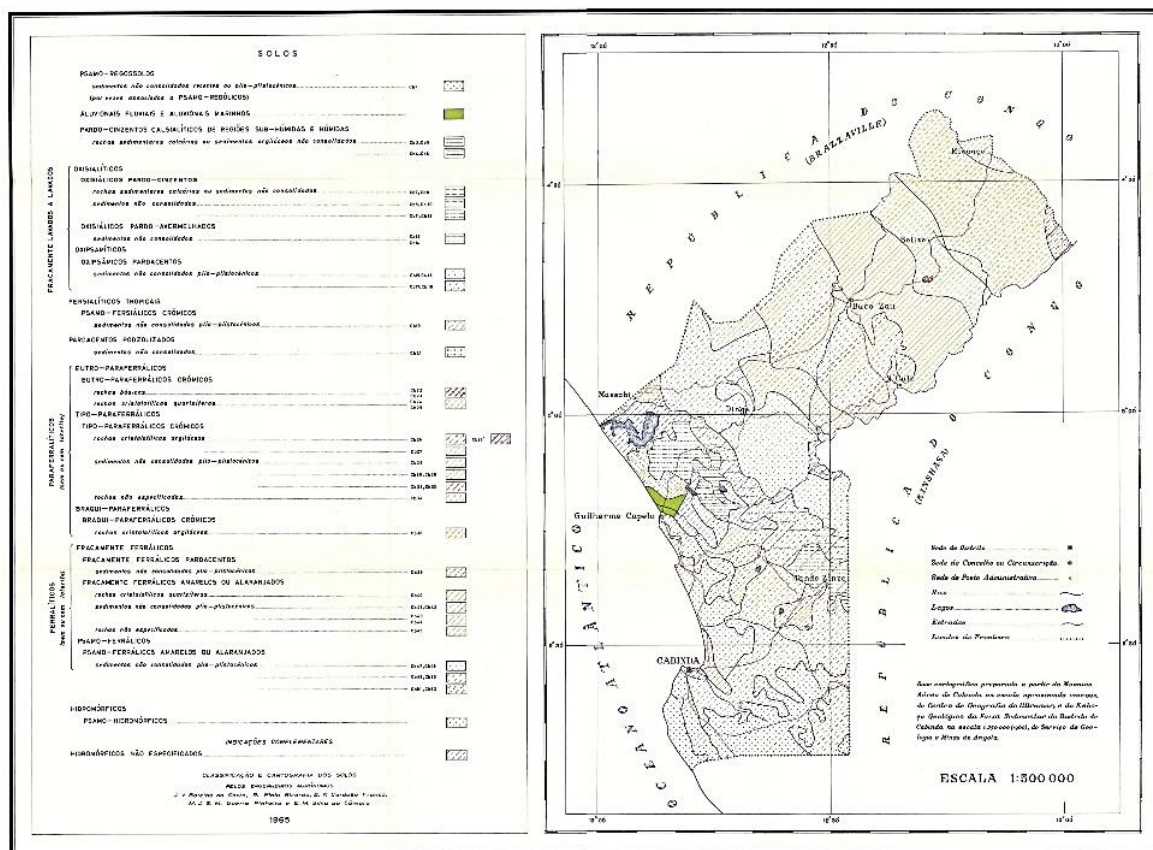


Figura 116 – Carta geral dos solos de Angola, província de Cabinda (Ministério do Ultramar, 1965)

5.6. Vegetação

Em relação à vegetação, na província de Cabinda distingue-se, fundamentalmente, dois grandes grupos: a floresta densa húmida e a savana com arbustos.

Segundo o esboço da vegetação de Cabinda, extraído do estudo das *Características Mesológicas de Angola* (1973), a área em estudo enquadra-se numa área de savana com arbustos e herbosa.

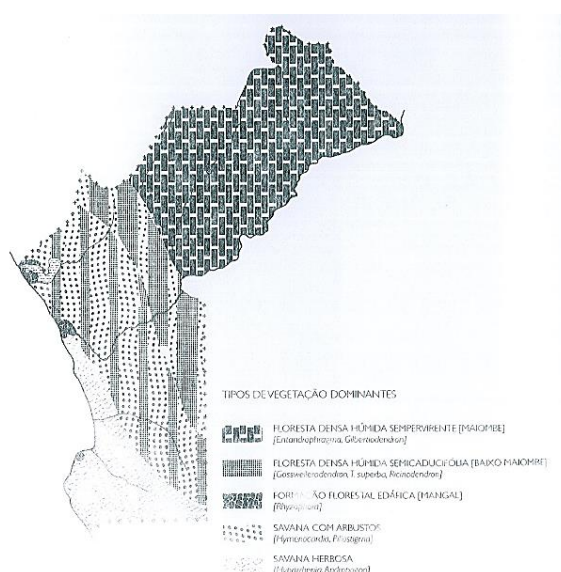


Figura 117 – Esboço da vegetação de Cabinda (Diniz, 1973)

«Na faixa do litoral os largos espaços vazios de floresta são preenchidos por uma formação de savana com arbustos em que *Hymenocardia acida*, *Piliostigma thonningii* e *Annona arenaria* são os elementos dominantes disseminados pelo estrato graminoso denso de *Hyparrhenia* e *Andropogon*.» Extraído da carta mesológica de Angola.

Em alguns «locais esta comunidade toma aspeto de savana quase arborizada, com acentuada densidade de arbustos e pequenas árvores das espécies mencionadas e noutros, pelo contrário as componentes lenhosas rarefazem-se de tal modo que a cobertura vegetal se reduz praticamente ao capinzal com fácies de típica savana herbosa. Este último caso está relacionado com as áreas mais dessecadas e muito aplanadas da cobertura plio-pleistocénica de solos essencialmente grosseiros também são de mencionar se formar de savana em que os núcleos de palmeira matebeira *Hyphaene guineensis* — se distribuem, em solos Psamo-hidromórficos, ao longo da orla marítima e com estrato inferior graminoso.

Em correspondência com os locais depressionários e pantanosos ocorrem comunidades herbáceas puras com fácies de pradaria, sendo muito típicas as formações de *Cyperus papyrus*, que por vezes se espriam em superfícies relativamente extensas». Extraído da carta mesológica de Angola.

Deste modo, foi descrito de forma sucinta pelo engenheiro Alberto Castanheira Diniz, o tipo de vegetação presente na faixa litoral em estudo.

5.7. Características territoriais

A província de Cabinda é bastante povoada na faixa litoral, principalmente nas áreas extensas de clareiras de savana. No interior a ocupação é mais escassa. A população rural tem como principal atividade a agricultura, predominando a cultura de mandioca, bananeira e amendoim. No entanto, é no município de Cabinda que a representação populacional é mais relevante, sendo a sua principal atividade profissional a empresarial.

As atividades empresariais estão diretamente ligadas com os recursos do solo como a exploração de madeiras e a venda de produtos agrícolas.

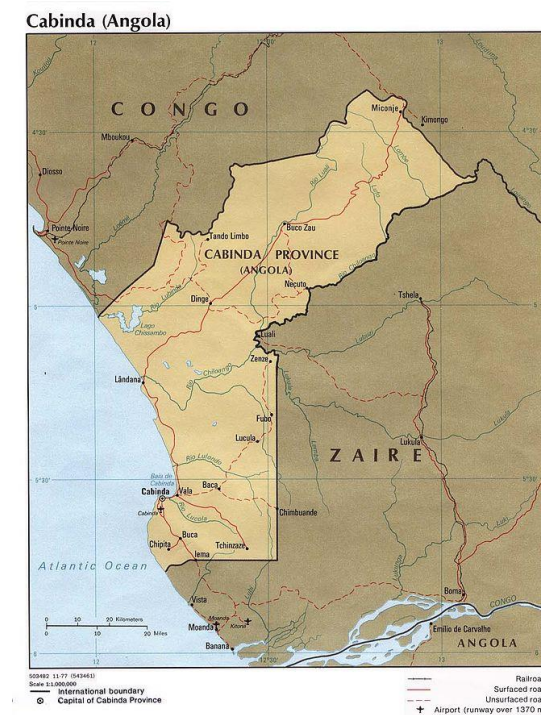


Figura 118 – Esboço territorial da província de Cabinda (CIA, 1977)

A ocupação comercial é bastante expressiva, concentrando-se na cidade de Cabinda, no que respeita ao embarque dos produtos provenientes da floresta.

Existe ainda uma importante rodovia costeira, que tem como objetivo a ligação entre todo o território de Cabinda e os países vizinhos.

5.8. Estudos e diagnóstico

5.8.1.1. Geomorfologia

A ravina 3 está situada na encosta do Morro do Tchizo, sendo este um dos bairros periféricos da cidade de Cabinda. O Morro desenvolve-se entre as cotas 25 e 150 m, com inclinações de talude entre 40° a 60° nas cotas de 50 a 150 m e 5° a 10° nas cotas da área ribeirinha do rio Luvassa.



Figura 119 – Morro do Tchizo, Cabinda (BDM, 2017)

5.8.1.2. Clima

O clima é tropical quente, do tipo Aw segundo Köppen e Geiger, com uma precipitação anual de 800 mm. A temperatura média anual é de 25,4 °C, oscilando entre 22 °C, nos meses de julho e agosto e 27 °C em março e abril. O mês mais seco é julho, com precipitação nula (0 mm), e o de maior precipitação é março, com uma média de 170 mm. Por fim, a humidade relativa é de 80 %.

5.8.1.3. Solos

A Geologia local é representada pela bacia sedimentar de Cabinda, que compreende sedimentos marinhos e continentais de grande diversidade litológica, destacando-se a cobertura arenosa ou arenoargilosa e as formações holocénicas recentes.

Do ponto de vista pedológico, predominam os solos psamíticos (oxipsâmicos, psamo-regossolos e psamo-fersialíticos), de texturas grosseiras, nos quais a percentagem de areia quartzosa é superior a 85 % e cuja distribuição coincide com a cobertura arenosa plio-olistocénica. Nas áreas de difícil drenagem, ocorrem os solos hidromórficos, isto é, saturados.

5.8.1.4. Vegetação

A vegetação predominante é a Savana herbosa a sul-sudoeste e na faixa litoral, a Savana com arbustos intercalados com faixas de floresta densa húmida sémica-ducifolia na parte norte-nordeste, esta é a zona onde a percentagem de árvores do conjunto florestal que perdem folhas na estação seca está compreendida entre 20% e 50%.

5.8.2. Situação atual — visita técnica

Durante uma visita de campo para caracterizar o objeto de estudo, verificou-se que a ravina se encontra entre as cotas 92 e 120 m, sendo o seu desnível máximo de 28 m. Os taludes apresentam um corte quase vertical, com a altura de 8 a 18 m. A extensão é de 93 m, e não é observada a presença de água nem de vegetação.

Como consequência do fenómeno erosivo, onze edificações estão em risco, sendo prevista a retirada de outras dezassete. A ravina afetou, também, a via rodoviária, impossibilitando a circulação. Na Tabela 20 apresenta-se as características do trecho ativo da ravina.

Tabela 20 – Características do trecho ativo da ravina 3 (BDM, 2017)

Características do trecho ativo da Ravina 3	Situação atual
Extensão	93 m
Cotas	120 m a 92 m
Desnível máximo	28 m
Alturas dos taludes	18 m a 8 m
Presença de água	Não
Presença de vegetação	Não
Edificações em risco de colapso	11
Edificações a ser removidas	17

5.8.2.1. Registo fotográfico

No conjunto de imagens que a seguir se apresenta é possível observar a evolução do processo erosivo durante o período temporal em que decorreu o acompanhamento deste fenómeno.



Figura 120 – Situação inicial (à esquerda), origem do processo erosivo em passagem hidráulica (ao meio), evolução da ravina 3 a jusante da passagem hidráulica (à direita) — abril, 2015, (BDM, 2015)



Figura 121 – Processo erosivo, com afectação da passagem rodoviária — abril, 2016, (BDM, 2016)



Figura 122 – Vista aérea da ravina em novembro de 2016, com o avanço da frente ativa sobre a estrada (BDM, 2016)



Figura 123 – Estrada totalmente interrompida pela ravina. Observar a declividade da via de rodagem no sentido da encosta — abril, 2017 (BDM, 2017)



Figura 124 – Vista do lado Sul da ravina — abril, 2017 (BDM, 2017)



Figura 125 – Pormenor que demonstra a natureza granular do solo, de composição arenosa fina siltosa pouco argilosa, e os taludes verticalizados — abril, 2017 (BDM, 2017)



Figura 126 – Vista da ravina para jusante, observando-se os taludes muito íngremes a verticalizados, taludes negativos e acumulação de material desmoronado — abril, 2017 (BDM, 2017)



Figura 127 – Pormenor da imagem anterior, da parte final do trecho ativo da ravina, com taludes verticalizados e marcas de escorregamentos — abril, 2017 (BDM, 2017)

5.8.2.2. Estudo topográfico

Para o desenvolvimento do projeto, foi realizado, em março de 2017, o levantamento topográfico e cadastral georreferenciado, da área da ravina na escala 1:1000, com espaçamento de curvas de nível a cada metro.

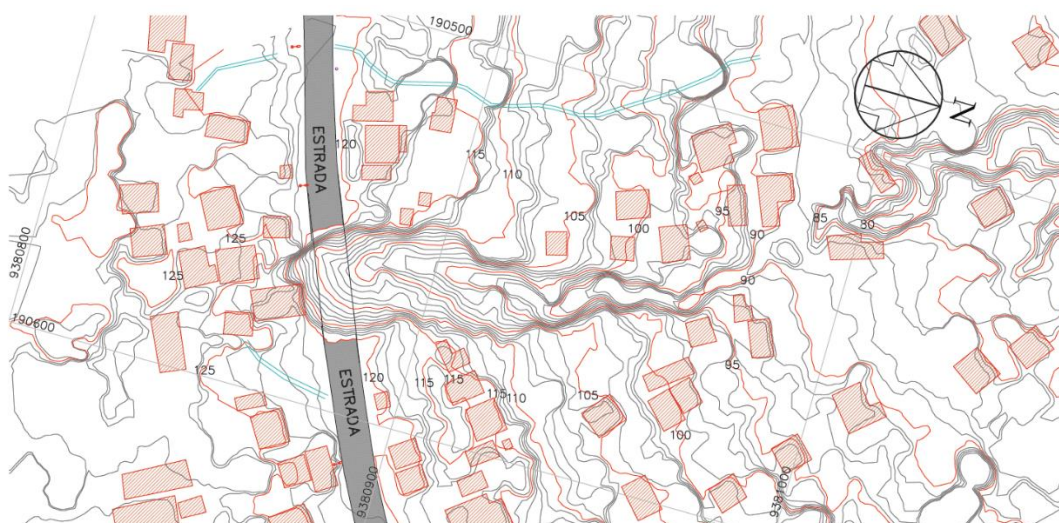


Figura 128 – Levantamento topográfico clássico (BDM, 2017)

Como complemento de informação, foi elaborado um modelo 3D com recurso a imagens de drone.



Figura 129 – Imagem aérea obtida por drone (BDM, Março/2017)

5.8.2.3. Estudo geológico e geotécnico

Para o estudo geológico e geotécnico da ravina, foram realizadas as seguintes atividades:

- Pesquisa bibliográfica sobre as características geológicas de Cabinda e do Morro do Tchizo, em especial da carta geológica de Angola na escala 1:1 000 000 e a Notícia Explicativa da carta.
- Visita de campo a 3 de abril de 2017, para reconhecimento e verificação das condições locais de relevo, vegetação, litologia, estruturas geológicas, tipos e perfis de solo, geometria dos processos erosivos, processos de laterização, instabilidades, presença de água, condições de escoamento das águas superficiais em função da drenagem natural e dos sistemas de drenagem superficial existentes na estrada e condições de acesso para equipamentos de terraplenagem.

- Reconhecimento do relevo local para verificação da viabilidade de exploração de áreas de empréstimo próximas à área da ravina, características dos solos, espessuras e potencial.
- Levantamento topográfico da área da ravina na escala 1:1000, realizado pela BDM — engenharia e tecnologia, em março de 2017.
- Relatório de Sondagem realizado por GID – Engenharia, em outubro de 2016, para os solos do Morro do Tchizo, compreendendo sete sondagens à percussão com a realização de ensaios SPT – *Standard Penetration Test*, e análises granulométricas e limites de consistência ou de Atterberg com as amostras recolhidas.
- Definição do modelo conceptual dos processos erosivos quanto aos mecanismos envolvidos e à sua dinâmica.
- Diagnóstico geológico–geotécnico e definição das medidas necessárias para a estabilização e reconstituição da área afetada pela ravina e prevenção quanto à instalação de novos processos.
- Elaboração de secções longitudinais e transversais de estudo para verificação da aplicação das medidas propostas em fase de projeto, em função das condições locais geológico–geotécnicas, hidrogeológicas e hidrológicas, desníveis e inclinações dos taludes.

5.8.2.3.1. Aspetos geológicos locais

De acordo com a carta geológica de Angola, a geologia local é representada por sedimentos paleogenicos do eocenico indiferenciado e da formação Ambrizete, constituídos por grés, calcários e margas estratificadas e seus produtos de alteração.

Na visita realizada ao local, observou-se que os taludes da ravina são constituídos por solo residual jovem com composição, arenosa fina siltosa e pouco argilosa.

Apresentam espessuras superiores a 20 m e coloração vermelho amarelada homogénea a pouco variada, com passagens avermelhadas ou esbranquiçadas, provavelmente em função

da maior ou menor percentagem de argila na sua composição. Não foram observados afloramentos de rocha na área.

5.8.2.3.2. Aspetos geotécnicos

A análise dos resultados das sondagens SPT 88 e SPT 96, executadas no Bairro Madombolo, parte baixa da encosta onde se situa a ravina 3 indicaram que os solos da área são de constituição silto-arenosa a silto-argilosa ou areno-siltosa, com resultados de SPT crescentes de acordo com a profundidade. Apenas a sondagem SPT 96 atingiu o nível da água, a 0,80 m de profundidade.

Os limites de liquidez e de plasticidade obtidos em laboratório mostraram-se baixos, classificando-se como não plástico.

Os solos observados nas paredes da ravina no topo da encosta descritos como solos residuais jovens de composição, predominantemente, arenosa fina siltosa, pouco argilosa, correspondem aos resultados obtidos através das sondagens e ensaios de laboratório.

Trata-se de solos de compacidade média a alta, de boas características geotécnicas para fundação de aterros e estruturas. Quanto à estabilidade, nos taludes escavados, apresentam elevada suscetibilidade à erosão. Pela sua localização na encosta, apresentam-se secos, pois o nível da água encontra-se muito abaixo.

5.8.2.4. Ocupação do solo

O morro do Tchizo é caracterizado por um bairro onde a ocupação do solo foi realizada de forma irregular e desorganizada. Deste modo, áreas de mata e de vegetação de grande porte foram substituídas por construções em chapa e ripa. Pelo observado nos hábitos locais, a madeira ali existente antes da ocupação foi utilizada como carvão e recurso estrutural para as casas (ripas).

Ao substituir uma mata de vegetação por ocupação sem área vegetal, de forma inconsciente o morro do Tchizo transformou-se num bairro em área de risco.

Para além da infraestrutura rodoviária, existe uma rede elétrica, rede de telecomunicações e dispositivo de água pluvial, sendo este último o ponto de origem do processo de erosão.

5.8.2.5. Análise de estabilidade de talude

Apesar de muito íngremes, verticais ou subverticais e até negativos (resultado da erosão diferencial formando consolas), os taludes da ravina 3, no seu trecho ativo, apresentam boa estabilidade graças ao elevado ângulo de atrito determinado pela natureza granular e pelo grau de laterização do solo. A fração argilosa é pouco significativa e a coesão é baixa.

As cicatrizes das roturas e dos escorregamentos observados são superficiais e estão relacionados com os episódios de chuva, quando se dá a saturação transitória do talude, reduzindo-se as tensões efetivas entre as partículas e, conseqüentemente, o ângulo de atrito do solo na sua camada mais superficial, desconfiada, com a alteração do estado de equilíbrio nessa camada.

Durante as chuvas dá-se, também, a rápida percolação da água do topo para a base do perfil de solo sob elevadas cargas hidráulicas relacionadas com os grandes desníveis, que podem determinar a formação de elevados gradientes hidráulicos de saída nos pontos de exurgência. Instalam-se, então, processos de erosão interna, *piping*, com o transporte de solo e a formação de cavidades e tubos que evoluem para cima à medida que o solo é transportado, criando-se vazios que também geram ou favorecem escorregamentos na forma de «placas».

Na visita realizada, não foram observadas cavidades de forma circular ou tubulares indicativas de processos de *piping*, porém, tais processos podem ter-se instalado ou vir a instalar-se de forma transitória, apenas durante as épocas em que há precipitação, pois a natureza granular do solo permite isso.

5.8.2.6. Definição do fator de segurança mínimo adotado

Estudos sobre os parâmetros de resistência ao corte dos solos de composição predominantemente granular, sem argila ou com baixos teores dessa fração, são bastante difundidos na literatura técnica. Solos dessa natureza apresentam, frequentemente, valores

aproximados de peso volúmico (γ) entre 18kN/m³ e 19kN/m³; ângulo de atrito (Φ) entre 30° e 32° e coesão (c') entre 0 e 0,2kN/m², com base na experiência observada em casos semelhantes.

Taludes dos aterros construídos com esses solos apresentam boa estabilidade com inclinações entre 1 (v):1,5 (h) e 1 (v):1,7 (h), e os cortes em terreno natural apresentam-se estáveis com inclinações de 1 (v):1 (h), 1 (v):1,5 (h) ou mesmo verticais.

As alturas dos taludes e inclinações adotadas no projeto para solos residuais jovens, foi de 1 (v):1,7 (h) para os aterros e 1 (v):1,5 (h) para os cortes. Para estas situações apresentam fatores de segurança sempre superiores a 1,5 (taludes secos) e 1,3 (taludes saturados).

Os taludes da ravina muito íngremes ou verticais, apenas com cicatrizes de roturas e escorregamentos superficiais localizados, sem ocorrência de roturas globais de forma circular ou planar de maiores dimensões, ou relacionadas com estruturas remanescentes no solo residual jovem, atestam a sua boa estabilidade.

5.8.3. Diagnóstico

Considerando a sua posição nas encostas e o estágio evolutivo, as ravinas podem originar-se nos locais de exurgências de água permanentes ou temporárias, instaladas onde ocorre uma alteração na topografia tornando-se a inclinação do terreno mais suave. A partir daí, evoluem para jusante. Nessa primeira etapa, o fluxo concentrado das águas superficiais provenientes das exurgências formam um talvegue natural, cujo regime de baixa energia e a proximidade do lençol freático favorecem a instalação de vegetação.

As características granulométricas dos solos e os elevados desníveis no trecho a montante desse primeiro talvegue podem ter favorecido processos de *piping* na encosta a partir da infiltração das águas das chuvas, sem qualquer relação com a erosão a jusante, iniciando erosões regressivas pontuais cuja evolução pode ser restringida pela vegetação.

Numa segunda etapa, a remoção da vegetação para a abertura de estradas promove a exposição do solo, cuja natureza granular, suscetibilidade à erosão e alta permeabilidade favorecem a instalação de processos erosivos superficiais e internos como o *piping* generalizados. Essa situação é agravada pelo lançamento concentrado das águas superficiais

nos pontos mais baixos das vias, escoando diretamente para o talvegue em regime de alta energia e gerando erosões muito profundas que evoluem conforme a dinâmica superficial descrita. A posição dos trechos de erosão profunda e ativa das ravinas confirma esse modelo, pois os mesmos têm a sua extremidade a montante coincidente com os pontos mais baixos das estradas.

Ravinas menores e secundárias podem formar-se em cotas mais baixas de uma ravina maior já instalada, por processos de *piping* nos pontos de escoamento superficial da água infiltrada no fundo da «ravina mãe». Essas novas ravinas tendem a juntar-se à ravina maior mais a jusante. À medida que progridem longitudinalmente, ocorre uma sinergia entre elas pela criação de grandes desníveis no terreno, o que favorece a instalação de processos de *piping* nos taludes laterais e promove, primeiro, a sua convergência, e depois a sua junção a jusante.

Essa junção progride para montante com a evolução lateral e longitudinal das ravinas, formando uma ravina única com a largura do conjunto, que pode acabar por comprometer toda a encosta.

À medida que ocorre o avanço da frente de erosão, a ravina vai-se tornando mais próxima da via existente, e a situação vai-se tornando mais crítica, por ação das sobrecargas provocadas pelos veículos pesados.

5.9. Técnica de tratamento aplicada

O diagnóstico obtido para a ravina 3 permite concluir que o trecho com erosão ativa deverá ser tratado de forma a reconstruir-se o pavimento da estrada, impedir o avanço a montante da ravina e recuperar a área degradada.

A jusante da frente ativa da ravina, a erosão linear encontra-se praticamente estabilizada, mas o perfil do terreno deverá ser refeito, com a construção de um canal de drenagem ao longo de toda a sua extensão, para conduzir as águas da encosta para o canal de macro-drenagem.

Para o tratamento do trecho de erosão ativa, são recomendadas as seguintes medidas:

- Abatimento dos taludes da ravina e preenchimento do mesmo por aterro compactado conformado por banquetas, para estabilização das paredes e encaminhamento adequado das águas superficiais. Deverá adotar-se taludes com inclinação 1 (v): 1,5 (nos cortes e 1 (v):1,7 (h) nos aterros;
- Aplicação de cobertura vegetal nas superfícies das bermas e taludes dos cortes e aterros, utilizando-se vegetação de sementeira de espécies da região, aplicados sobre o solo devidamente corrigido, com calcário, e adubado;
- Drenagem controlada das águas superficiais dos aterros de preenchimento em torno da ravina, com lançamento em locais devidamente protegidos contra erosão;
- Monitorização geológico-geotécnica dos processos de erosão e instabilidade de taludes, durante e após a realização das obras, de forma a garantir a qualidade e eficiência das medidas adotadas, a segurança da via e das edificações e a definição das intervenções, eventualmente, necessárias;
- Revegetação definitiva das áreas recuperadas por espécies nativas.

Para o trecho a jusante da ravina, recomenda-se:

- Construção de um canal de drenagem ao longo da erosão linear, com a realização de aterros e cortes para a sua conformação;
- Escavação dos taludes dos cortes com inclinação 1 (v):1,5 (h);
- Construção dos aterros com o solo proveniente da escavação dos cortes e áreas de empréstimo, devem ser rejeitados caso verifiquem as seguintes condições:
 - presença de resíduos ou detritos orgânicos;
 - argilas com IP > 50%;
 - materiais com propriedades físicas ou químicas indesejáveis, que requeiram medidas especiais para escavação, manuseamento, armazenamento, transporte e colocação;
 - turfa e materiais orgânicos provenientes de locais pantanosos.
- Revegetação definitiva das áreas aterradas por espécies nativas.

5.9.1. Medidas de emergência

Antes do início das obras e até à implementação das medidas de intervenção definitivas para a reconstrução do pavimento da estrada e para a recuperação da área degradada pela ravina, as águas provenientes da encosta deverão ser desviadas da frente ativa da ravina, de forma a evitar o agravamento do processo.

O desvio das águas deverá ser realizado por meio de duas valetas, uma em cada lateral da ravina, construídas a partir da área não afetada a montante, até locais a jusante da frente ativa, onde a descarga das águas desviadas não irá contribuir para o processo erosivo. A orientação das valetas e os locais para descarga deverão ser definidos no campo, em função das condições topográficas e da existência de residências.

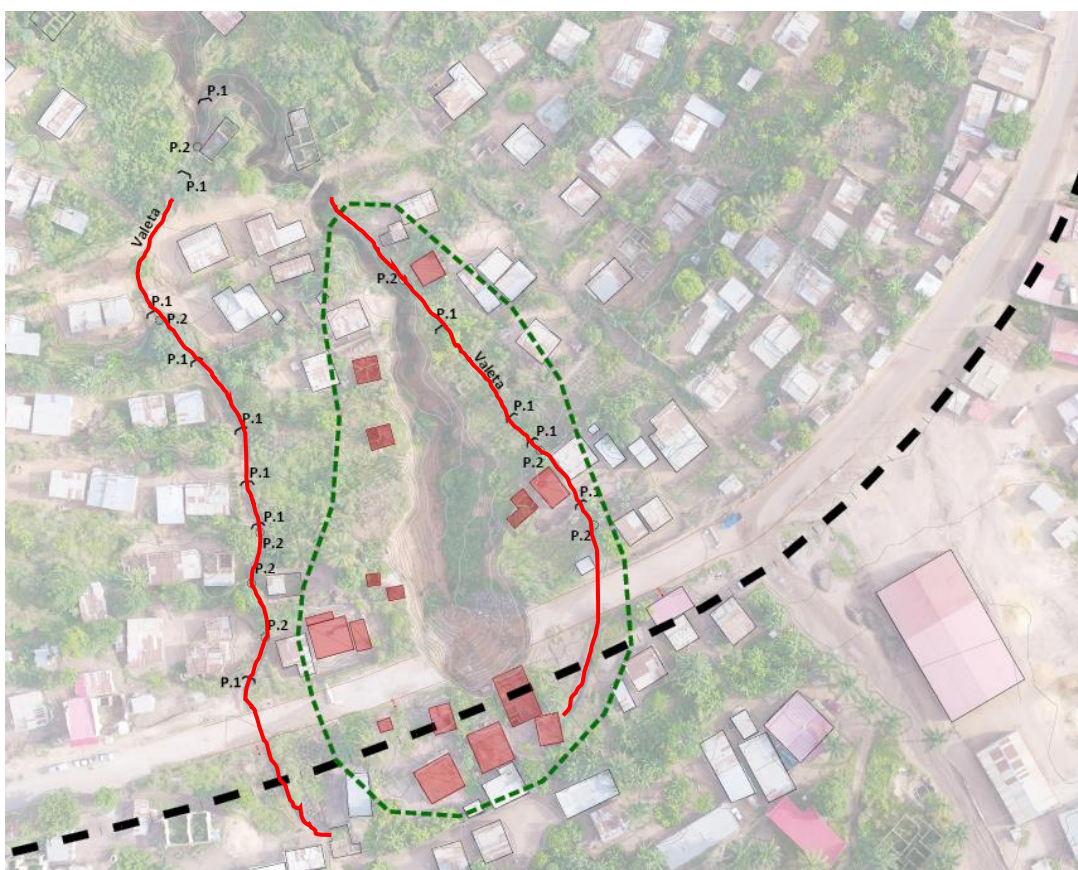


Figura 130 – Medidas de emergência valeta (vermelho), área de expropriação (verde) (BDM, 2017)

As valetas deverão ser revestidas com argamassa de betão ou solo-cimento, de forma a evitar a instalação de processos erosivos. Nos trechos mais íngremes, poderá construir-se escadas

hidráulicas no interior das valetas, com a largura das mesmas e degraus com espelho e cobertor com, aproximadamente, de 0,50 m.

Deverá ser estabelecida uma zona de segurança no perímetro de toda a frente ativa da ravina, considerada «área de risco». As dezassete edificações em risco deverão ser, imediatamente, removidas, toda a área afetada deverá ser sinalizada e a circulação pedonal deverá ser evitada.

5.9.2. Projetos e especificações técnicas

5.9.2.1. Projeto de Terraplenagem

Serão escavados apenas solos residuais e materiais derivados de escorregamento de taludes, não estando previstas escavações em rocha. O material escavado será utilizado para a construção dos aterros, como «material de preenchimento» na área da ravina, coberto por uma camada de solo preferencialmente argiloso, a ser obtido em áreas de empréstimo. O material que não tenha as características necessárias para ser reutilizado deverá ser colocado em área de vazadouro.

As escavações deverão ser realizadas com base nos limites e na geometria da ravina e da erosão a jusante da mesma, obtidos a partir do levantamento topográfico realizado em março de 2017. Este trabalho deve ser adequado à obra em função das alterações que ocorram até à data da sua execução, pois os processos erosivos encontram-se ativos.

Os cortes no interior da ravina serão realizados com inclinação de 1 (v):1,5 (h) a partir de uma plataforma com largura mínima de 3 m, a ser conformada no fundo. Os cortes necessários para a construção do canal retangular a jusante da ravina serão realizados com essa inclinação. A superfície final das escavações deverá apresentar-se regularizada e limpa e as cavidades e pontos baixos (buracos) existentes deverão ser totalmente removidos ou preenchidos com solo local compactado.

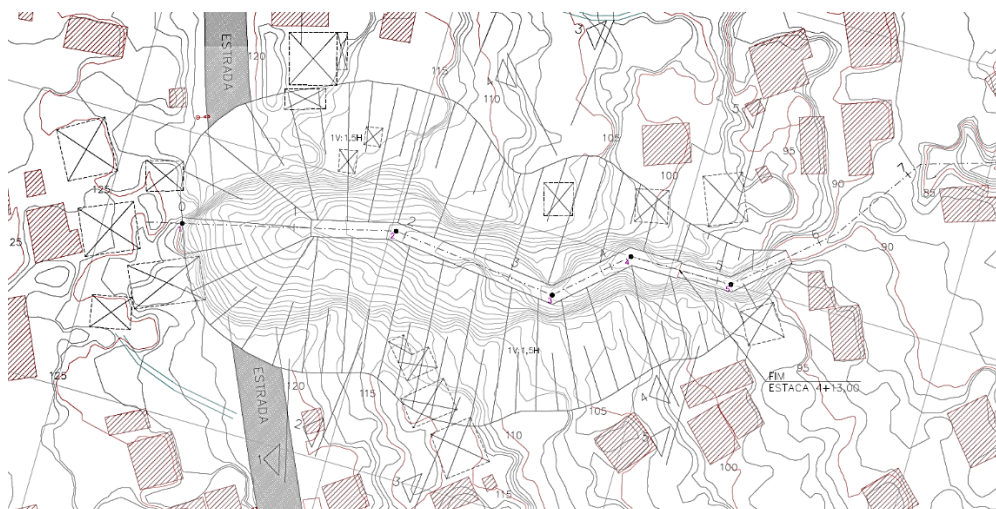


Figura 131 – Planta de terraplenagem, extraída do projeto de execução (BDM, 2017)

Para a construção dos aterros, serão utilizados solos residuais locais provenientes das escavações e solo, originário de áreas de empréstimo. O material proveniente das escavações na área da ravina só poderá ser utilizado como «material de preenchimento» dos aterros da ravina.

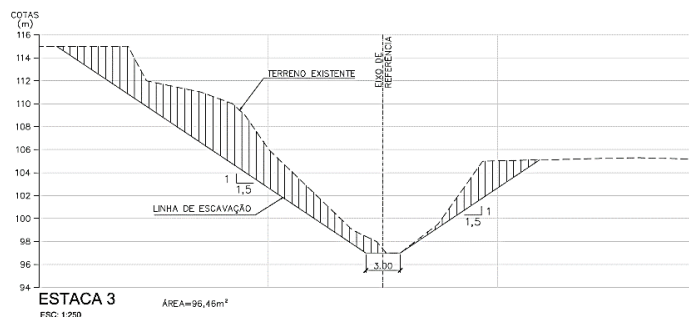


Figura 132 – Perfil de escavação, extraído do projeto de execução (BDM, 2017)

Serão construídos taludes com inclinação de 1 (v):1,7 (h) e 6 m de altura, intercalados por banquetas com 3 m de largura e declive de 2 % para montante. No topo do talude da ravina, o terreno será recolocado sob a forma de uma plataforma que se desenvolve desde o limite a montante, abrangendo as faixas de rodagem, que serão reconstruídas. Terá uma berma adicional com 10 m de largura.

Os solos a serem utilizados para os aterros deverão ser ensaiados nas áreas de empréstimo, de forma a garantir que as propriedades sejam o mais adequadas possível, no que respeita ao

teor em água ótimo e às condições de trabalhabilidade para a compactação. Deverá ser obtido o maior grau de compactação possível (mínimo de 95 % / AASHTO Modificado), sendo o grau de compactação máximo do solo atingido com o teor em água ótimo. Recomenda-se a realização de ensaios de caracterização e compactação dos solos das áreas de empréstimo, bem como o controlo da compactação do aterro durante a sua construção.

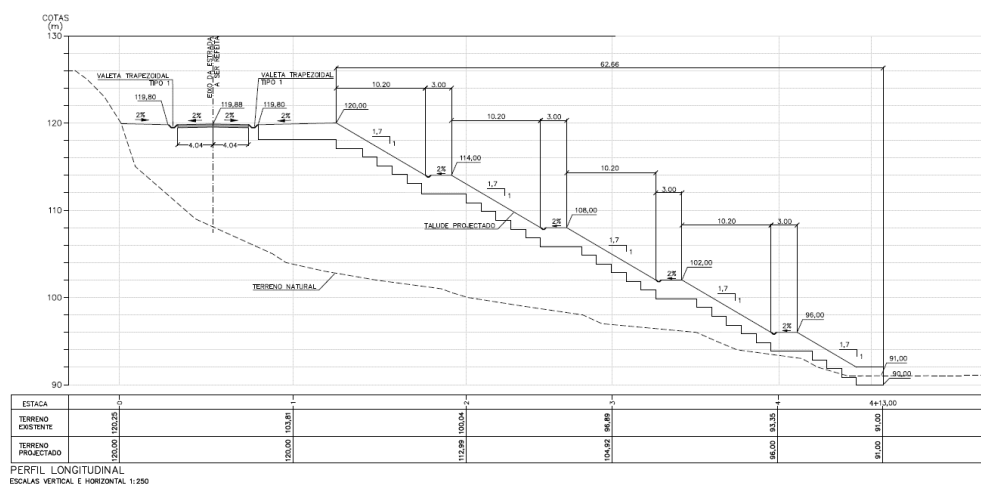


Figura 133 – Perfil longitudinal, projeto de execução (BDM, 2017)

As áreas de empréstimo deverão ser adequadamente drenadas de forma a evitar danos ambientais como erosões e assoreamentos, que iriam comprometer a qualidade do solo a ser escavado. As áreas decapadas e expostas à chuva deverão ser seladas superficialmente com recurso a equipamento pneumático e colocada vegetação após os trabalhos de extração.

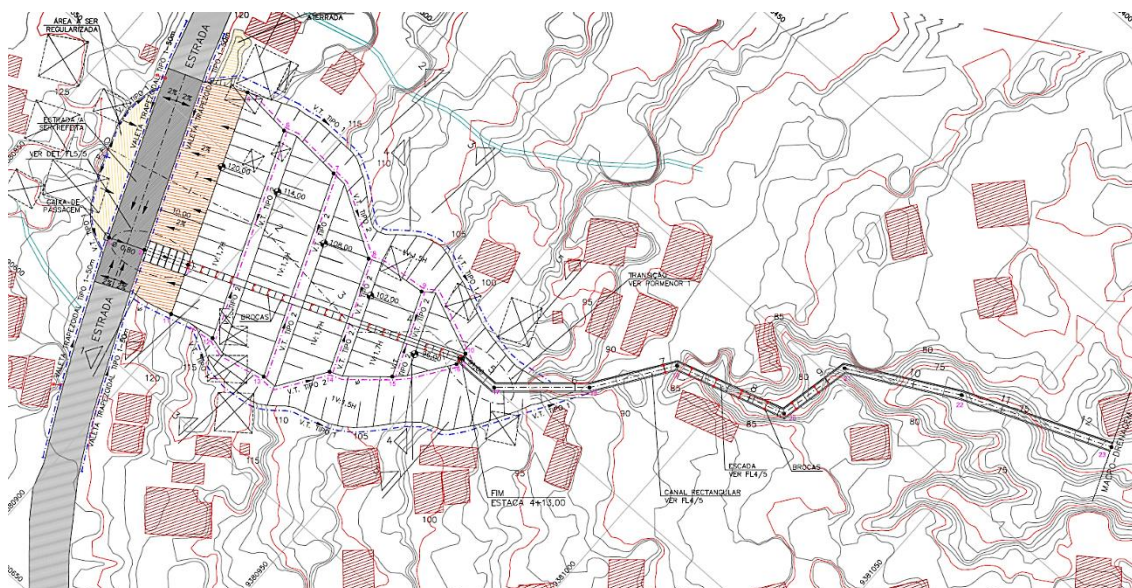


Figura 134 – Planta geral com taludes, banquetas e dispositivos de drenagem, projeto de execução (BDM, 2017)

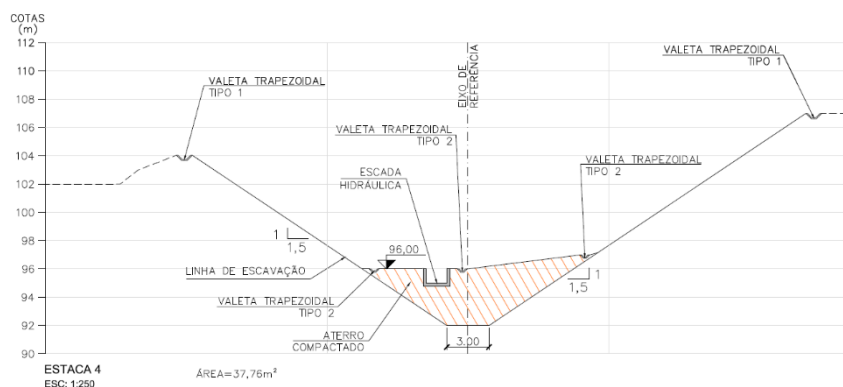


Figura 135 – Secção transversal do canal, projeto de execução (BDM, 2017)

5.9.2.2. Projeto estrutural

As paredes e a base da valeta trapezoidal que conduzirá as águas da estrada para a escada hidráulica serão constituídas por betão armado com resistência de 25 MPa e 0,10 m de espessura. As paredes e os degraus da escada hidráulica na área da ravina e as paredes e base do canal retangular a jusante serão constituídas por betão armado com resistência de 25 MPa e 0,15 m de espessura.

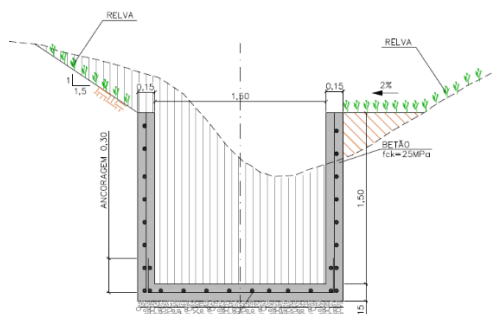


Figura 136 – Secção tipo de betão armado, projeto de execução (BDM, 2017)

A armadura dessas estruturas será feita com aço de 6 mm de diâmetro e afastamento de 0,15 m, sendo uma armadura dupla nas paredes do canal e simples no fundo. A classe do aço é A400, segundo REBAP, Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado.

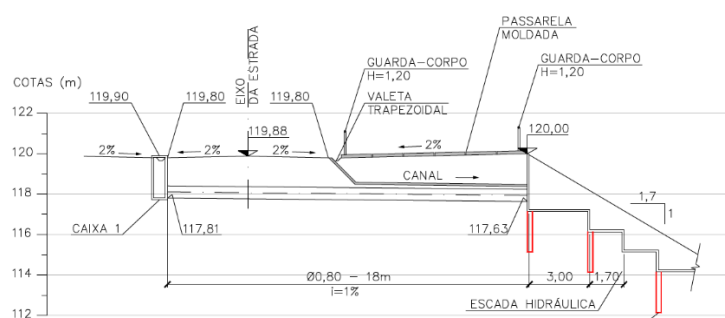


Figura 137 – Secção longitudinal da via rodoviária, projeto de execução (BDM, 2017)

A valeta de drenagem trapezoidal será coberta por seis lajetas de dimensões 4,20 m x 1,50 m x 0,15 m, de betão armado, com resistência de 25 MPa, dispostas, juntas, transversalmente. As armaduras adotadas e a sua posição na estrutura devem respeitar as peças desenhadas no projeto de execução.

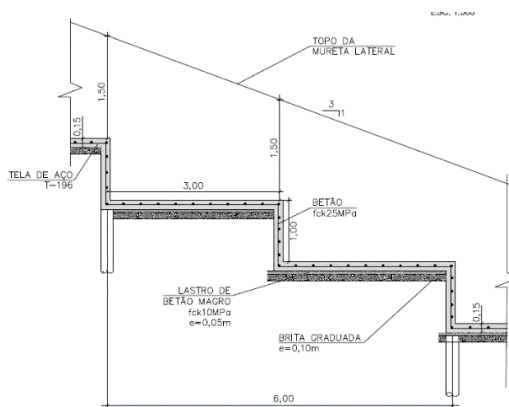
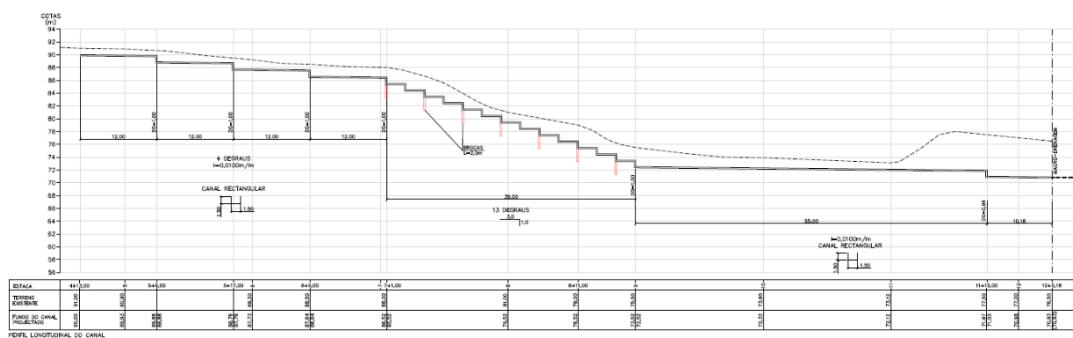


Figura 138 – Secção longitudinal do canal de betão armado com sistema de fixação ao terreno, projeto de execução (BDM, 2017)

5.9.2.3. Projeto de drenagem

O pavimento da estrada deverá respeitar a estrutura do pavimento da via existente. Deste modo, terá uma inclinação de 2 % para cada lado a partir do eixo da via e, no sentido longitudinal, deverá ser adotada a inclinação de 2 % a partir dos seus dois extremos. As águas superficiais serão recolhidas nas duas margens por valetas trapezoidais com 0,20 m de largura na base. Na margem interna da estrada, serão encaminhadas para uma caixa de passagem, coberta, com dimensões internas de 0,90 m x 0,90 m x 2,05 m, e desta para uma tubagem de betão com 0,60 m que seguirá sob a via até à escada hidráulica.

Na margem externa, as águas recolhidas pelas valetas serão lançadas diretamente numa valeta trapezoidal com 1,20 m de profundidade e 1,70 m de largura, na base, revestida com betão, que seguirá para a escada hidráulica.



A implementação de um sistema de drenagem para as águas superficiais evitará que sejam formadas concentrações de fluxo, pois as águas serão recolhidas, conduzidas e descarregadas com baixa energia em locais devidamente protegidos contra a erosão. A aplicação de revestimento vegetal sobre a superfície dos taludes e banquetas evitará a instalação de erosão laminar e novos ravinamentos.

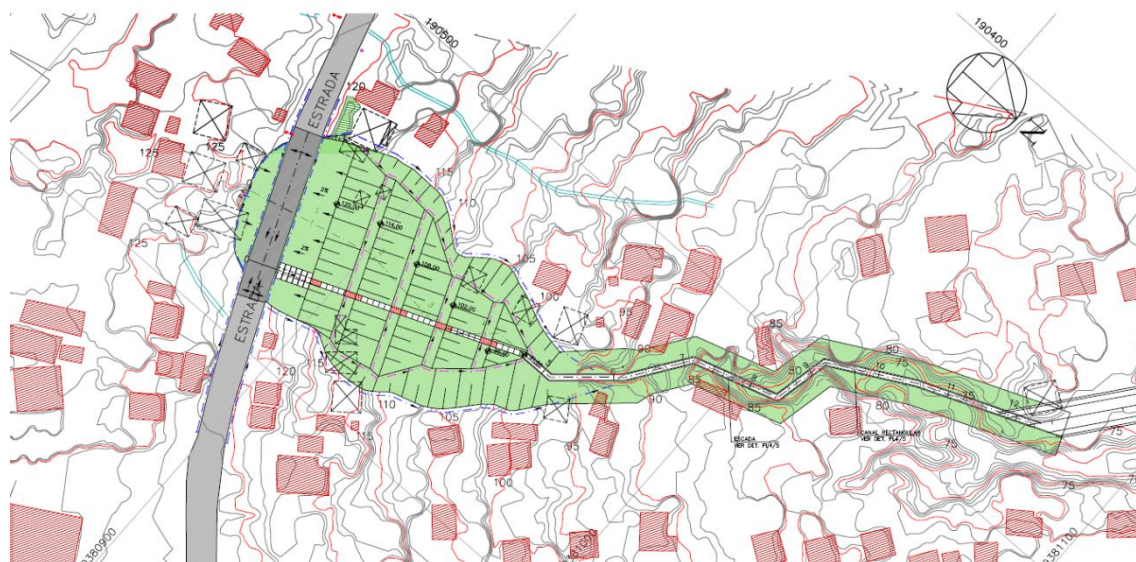


Figura 140 – Planta de proteção ambiental, projeto de execução (BDM, 2017)

Os taludes e banquetas de toda a área recuperada, bem como as vias de serviço provisórias abertas para o acesso das máquinas e camiões, deverão ser totalmente revestidos com cobertura vegetal de sementeira de espécies nativas locais. Antes da aplicação da vegetação, a acidez do solo deverá ser corrigida com calcário, adubos fertilizantes e solo orgânico.

5.10. Ensaios laboratoriais

A estabilidade dos taludes depende, fundamentalmente, dos parâmetros resistentes dos materiais que os constituem (γ ; ϕ' , c' ; c_u , ϕ_u). A instabilidade é motivada pela mobilização da resistência última do material, por ação do conjunto de fatores referidos nos capítulos anteriores. Conscientes da importância das características do solo nos processos erosivos em Cabinda e da experiência do técnico na análise dos dados, não obstante a existência de sondagens e ensaios próximo do local, já referido anteriormente, decidiu-se tomar contacto com o solo, trabalhá-lo e analisar o seu comportamento. Para tal, apesar das dificuldades

inerentes ao transporte de solo para Portugal, foram desenvolvidos esforços que se mostraram frutíferos e conseguiu-se duas amostras para a realização de alguns ensaios. Foi realizado o processo de amostragem e os ensaios para identificação e caracterização de acordo com os seguintes documentos normativos:

- Preparação de amostras para ensaios de identificação especificação do LNEC E 195,1966;
- Teor em água, pela norma NP 84,1965;
- Análise granulométrica, pela Especificação do LNEC, E 196,1966;
- Densidade das partículas, pela norma NP 83,1965;
- Limites de Consistência, pela norma NP 143,1969;
- Corte direto, procedimento interno baseado na norma ASTM D 3080-90.

5.10.1. Recolha da amostra

A amostra de solo deve ser livre de cobertura vegetal. Para tal, foi necessário remover a camada superficial de vegetação e outros materiais que poderiam comprometer os resultados. Na Figura 141, pode-se observar a localização dos pontos onde se procedeu à recolha das amostras.

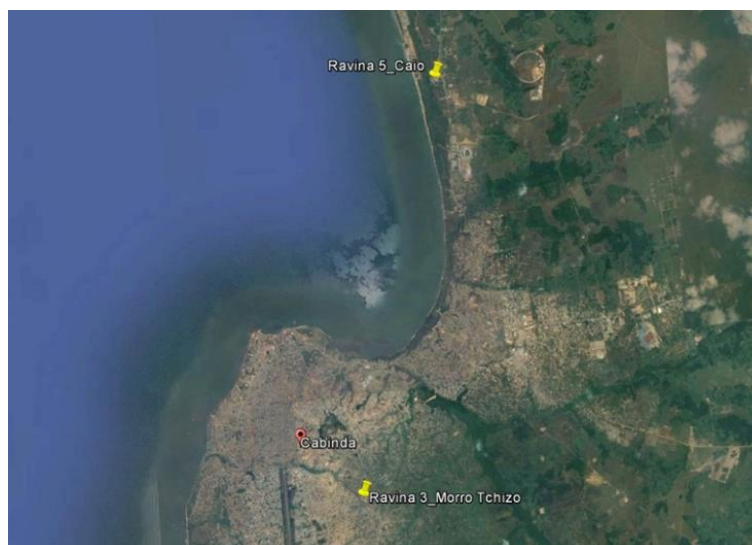


Figura 141 - Localização da recolha de amostra (Google Earth, 2018)

Na Tabela 21 – Coordenadas da recolha de amostra, estão indicadas as coordenadas no sistema UTM (Universal Transversa de Mercator):

Tabela 21 – Coordenadas da recolha de amostra

Amostra	Latitude	Longitude	Altitude
Ravina 5 - Caio	193301,00 m E	9392562,00 m S	26 m
Ravina 3 – Morro Tchizo	190569,00 m E	9380873,00 m S	90 m

Após a recolha, as amostras foram colocadas em recipientes selados e transportadas para o laboratório de engenharia civil do Instituto Politécnico de Tomar, onde foram desagregadas e preparadas para os ensaios programados.

As amostras foram armazenadas, em local próprio, com identificação do laboratório, designação do tipo de serviço, identificação do operador que realizou a recolha, data e local da recolha.

O processo de preparação para ensaio requer a separação de provetes com a massa recomendada pelos documentos normativos. Para garantir que o material selecionado para ensaio constitui uma amostra representativa, da inicial, os provetes foram obtidos através do método de esquartelamento com recurso o repartidor. Este método permite dividir a amostra em duas partes iguais das quais se seleciona uma que será novamente dividida em duas das quais se seleciona uma para continuar o processo. Este processo repete-se até se obter a massa desejada para o ensaio. Na Figura 142, pode ver-se uma imagem deste método.



Figura 142 – Esquartelamento da amostra

5.10.2. Teor em água

Este ensaio destina-se a determinar o teor em água, por secagem, de uma amostra de solo que não contenha matéria orgânica.

- **Procedimento**

Do solo passado no peneiro n.º 10, retiraram-se três provetes de aproximadamente 20 g cada. Pesaram-se três cápsulas vazias, de seguida colocou-se cerca de 20 g de solo e voltou-se a pesar e a registar o peso da cápsula com o solo húmido. Posteriormente, colocou-se as cápsulas na estufa e após secagem foram retiradas e colocadas no exsicador, para arrefecer sem absorção de humidade. Quando o solo atingiu a temperatura ambiente, pesou-se as cápsulas com os provetes secos e registou-se os seus valores.

Este procedimento permite obter, em percentagem, a relação entre o peso da água contida no solo e o peso das partículas sólidas. Este valor é obtido pela média dos três provetes. Os resultados obtidos são utilizados no ensaio da análise granulométrica.

Neste trabalho foi determinado o teor em água natural, correspondente à amostra tal como chegou ao laboratório e o teor em água após secagem ao ar, na fase de determinação da análise granulométrica.

Na Figura 143 pode ver-se a estufa com o material a secar.



Figura 143 - Material na estufa

Os resultados estão apresentados na Tabela 22:

Tabela 22 – Valores médios do teor em água natural das duas amostras de solo, ravinas 3 e 5

Amostra	Teor em água médio (%)
Ravina 3	10,0
Ravina 5	11,3

O valor médio do teor em água, é 10,0% na amostra da ravina 3, e 11,3% na ravina 5. Sublinha-se que as amostras foram recolhidas no período de estação de chuvas, o que pode influenciar os valores.

Em anexo, apresenta-se o boletim de ensaio.

5.10.3. Análise granulométrica

Consiste em determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas de um solo retido no peneiro de 0,074 mm (n.º 200) ASTM e a percentagem de material passada nesse peneiro.

- **Procedimento**

Começa-se por separar o material através do peneiro de 2,00 mm (n.º 10 da ASTM). O material retido no peneiro com malha de abertura 2 mm, é lavado em água corrente e colocado na estufa para secar. Após secagem procede-se à peneiração, através do conjunto de peneiros com malha de abertura superior a 2mm, conforme o especificado no documento normativo.

A peneiração, neste caso foi manual, realizada com movimentos horizontais e de rotação contínuos, de modo a manter o solo no fundo do peneiro. O movimento só deverá parar quando durante mais de 1 minuto não passar um valor superior a 1 % da massa do material.

Na Figura 144 pode ver-se o conjunto de peneiros utilizado



Figura 144 – Série de peneiros para a peneiração da fração grossa

Após a peneiração, retira-se as várias frações e faz-se a pesagem.

Deste modo, é possível representar, graficamente, a distribuição quantitativa da fração do solo passado em cada peneiro.

Para o estudo da granulometria da fração compreendida entre 2 mm e 0,075 mm, correspondendo aos peneiros nº 10 e nº 200 da ASTM, tomaram-se cerca de 60g, conforme recomendado para solos com fração siltosa e argilosa. Esta massa foi obtida através do material passado no peneiro de 2 mm (nº 10) quando da preparação da análise granulométrica da fração grossa. Utilizou-se o método do repartidor para obter, da massa de material passado no peneiro de 2 mm, um provete com cerca de 60g. A este provete adicionou-se antifloculante, hexametáfosfato de sódio e procedeu-se ao aquecimento e posterior agitação de acordo com o documento normativo. Passou-se o material do copo do agitador para o peneiro de 0,075 mm (nº 200 da ASTM) e lavou-se com água destilada. O material retido foi colocado na estufa e após secagem foi sujeito à peneiração através do conjunto de peneiros com malha de abertura superior a 0,075 mm e inferior a 2 mm, conforme o especificado no documento normativo. O material passado no peneiro de malha 0,075 mm foi submetido ao ensaio por sedimentação. Este procedimento tem por base a velocidade de queda (sedimentação) das partículas e resulta da aplicação da lei de Stokes. Utilizando-se um densímetro graduado e procedendo-se a leituras do nível da solução na haste do densímetro, em intervalos de tempo definidos e à leitura das temperatura da solução nos mesmos intervalos de tempo, conhecendo a viscosidade da água, a densidade das partículas e as correções necessárias relativamente ao menisco e ao antifloculante, através da aplicação da lei de Stokes, obtém-se os diâmetros das partículas.

$$v = \frac{g}{18} \cdot \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\eta} D^2 \quad (5.1) \text{ Lei de Stokes}$$

v é a velocidade de sedimentação, g é a aceleração da gravidade; D é o diâmetro das partículas, consideradas esféricas; γ_s é o peso volúmico das partículas; γ_w é o peso volúmico do fluído, neste caso é água; η é a viscosidade do fluído.

A documentação normativa apresenta todas as fórmulas necessárias para o cálculo em cada uma destas fases da análise granulométrica e para a ligação das curvas obtidas ao longo deste

procedimento. No final obtém-se um gráfico com uma curva que se desenvolve desde as maiores dimensões representadas no solo até às mais reduzidas que correspondem à componente argilosa.

Na Figura 145, é apresentado graficamente o resultado da análise granulométrica das duas amostras de solo. Pode-se concluir que possuem sensivelmente a mesma constituição. A amostra da ravina 3 apresenta uma composição com aproximadamente 1% de seixo, 81% de areia, 9% de silte e 9% de argila. Já a amostra da ravina 5 apresenta uma composição de 0% de seixo, 68% de areia, 13% de silte e 19% de argila.

Através da interpretação das curvas granulométricas pode-se afirmar que as amostras possuem uma granulometria pouco extensa. Verificando-se que em ambas as amostras a maior representação corresponde à fração areia.

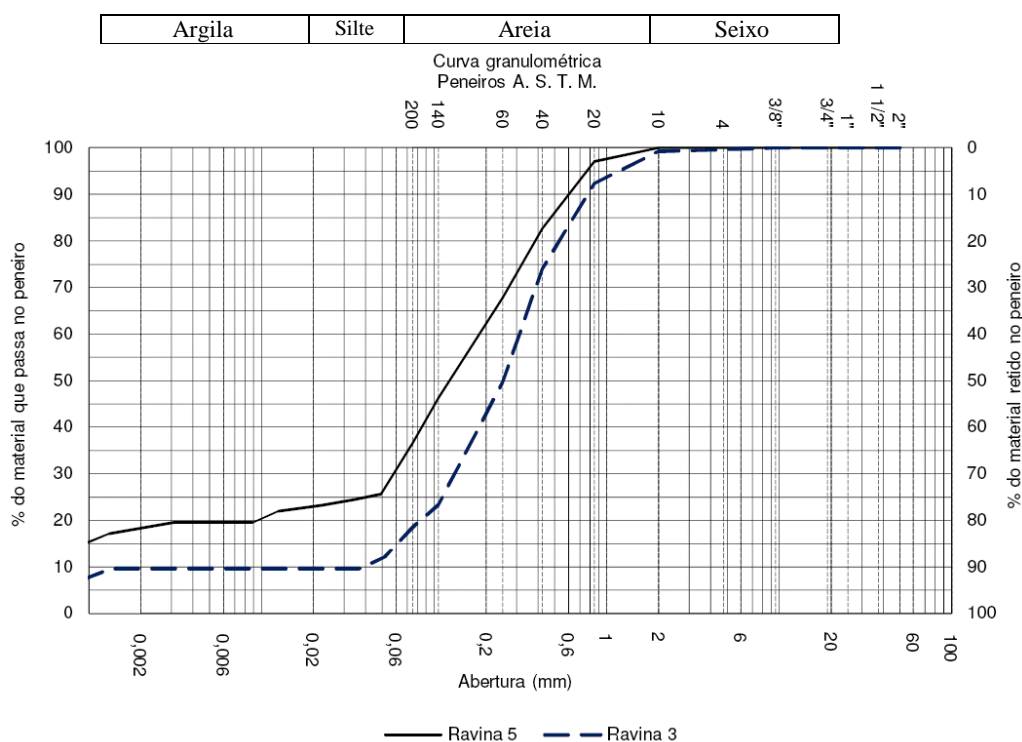


Figura 145 – Curvas granulométricas das amostras da ravina 3 e ravina 5

Extraindo informação da curva granulométrica pode-se classificar o solo, com recurso ao triângulo de Feret, representado na Figura 146, este tem como finalidade atribuir um termo mais apropriado à designação do solo, de acordo com as percentagens de areia, silte e argila.

Pode-se concluir que o solo da amostra ravina 3, tem a designação de areia, enquanto a amostra da ravina 5 areia siltosa.

Em anexo apresenta-se os boletins e os cálculos da análise granulométrica.

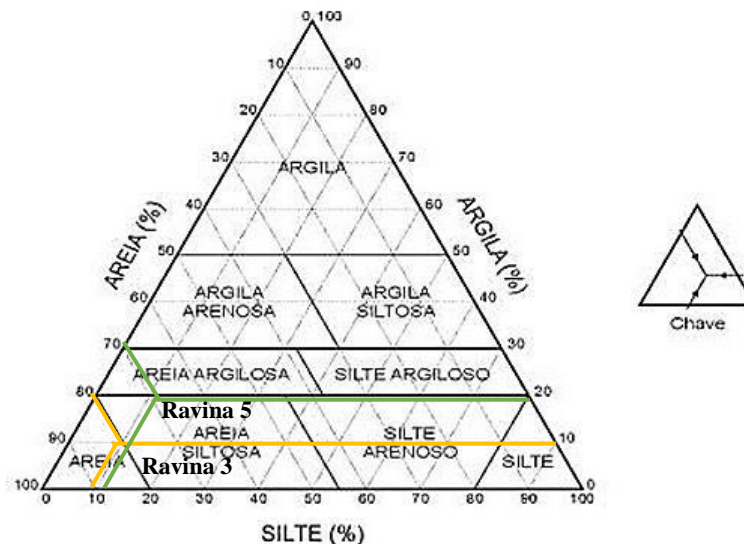


Figura 146 - Triângulo de Feret, com as designações do solo em conformidade com a curva granulométrica (Matos Fernandes, 1994)

5.10.4. Densidade das partículas

O ensaio que se denomina determinação da densidade das partículas de um solo tem como objetivo determinar a densidade das partículas com dimensões inferiores a 4,75 mm (peneiro n.º 4 da ASTM). A densidade das partículas é o quociente da massa de um dado volume de solo, à temperatura de ensaio, pela massa de igual volume de água destilada, a 20° C.

O resultado obtido é utilizado na determinação da fração fina na análise granulométrica.

- **Procedimento**

Inicia-se com a calibração dos picnómetros. Regista-se a massa dos picnómetros previamente limpos e secos, depois são cheios com água destilada até ao traço de referência e pesa-se. Terminada a pesagem, determina-se a temperatura da água (t1) e despeja-se.

Os provetes obtidos, cerca de 25g, do material passado no peneiro n.º 4 após secagem em estufa são introduzidos nos respetivos picnómetros com água destilada até $\frac{3}{4}$ da sua capacidade. Depois de deixar repousar a mistura, cerca de 12h, o provete é sujeito a um período de ebulição e agitação, durante 10 minutos, sobre uma placa elétrica, de modo a

retirar o ar existente. Deixa-se arrefecer até à temperatura ambiente e faz-se o acréscimo de água destilada até ao traço de referência, procedendo-se, de seguida, à pesagem e ao registo de temperatura.



Figura 147 - Preparação do solo para a determinação da densidade das partículas



Figura 148 – Repouso da mistura

Na Tabela 23, está apresentado o resultado do ensaio. A densidade média das partículas das amostras das ravinas 3 e 5 é 2,68. Este valor é ligeiramente superior à densidade do quartzo que é 2,65. Em anexo, está apresentado o boletim de ensaio.

Tabela 23 - Quadro resumo da densidade média das partículas

Amostra	Densidade média das partículas
Ravina 3	2,68
Ravina 5	2,68

5.10.5. Limites de consistência

A fração fina do solo tem o comportamento determinado pela quantidade e natureza dos minerais de argila presentes e pelo teor em água. Para valores muito elevados do teor em água a mistura comporta-se como um fluido. Reduzindo o teor em água, de forma

homogénea e progressiva, há um valor deste teor com o qual o material passa a ter um comportamento moldável. Este teor em água designa-se por limite de liquidez (L_L). Continuando a reduzir o teor em água, o comportamento do solo passa a ser friável. O teor em água correspondente a esta mudança de comportamento designa-se limite de plasticidade (L_P). Prosseguindo a redução do teor em água passa-se por um valor em que a secagem se faz a volume constante, este ponto de mudança corresponde ao limite de retração (L_R). Os valores destes limites e do índice de plasticidade (IP), diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, permitem obter informação sobre o comportamento dos solos argilosos e até obter indicadores para identificação do mineral de argila.

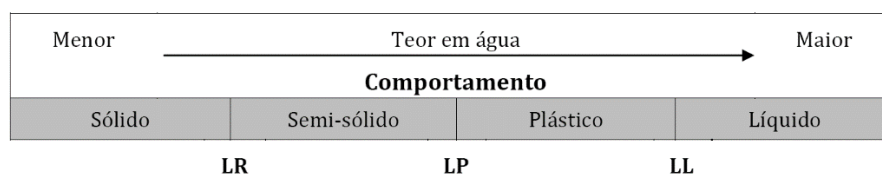


Figura 149 – Alteração do estado em função da variação do teor em água (P. Sousa, 2011)

Em laboratório determinou-se o limite de liquidez utilizando a concha de Casagrande. Adicionou-se água destilada a um provete do solo passado no peneiro nº40 da ASTM (0,425 mm) e colocou-se na concha de Casagrande. Abriu-se o sulco com o riscador e colocou-se a concha em movimento, à razão de duas pancadas por segundo. O ensaio terminou quando as partes inferiores do sulco se uniram na extensão de um cm. Anotou-se o número de pancadas correspondentes e retirou-se, com a espátula, uma amostra, de cerca de dez gramas na zona do sulco para a determinação do teor em água. Repetiu-se o procedimento para diferentes teores em água, de tal forma que se obteve, pelo menos, quatro pares de valores, teor em água e número de pancadas. Dois dos provetes fecharam o sulco com valores superiores a vinte e cinco pancadas e outros dois com valores inferiores a vinte e cinco pancadas. Estes valores foram projetados num gráfico, com o teor em água em ordenadas e o número de pancadas da concha em abcissas. Por aproximação estatística traçou-se a reta definida pelos pontos. O teor em água correspondente a 25 pancadas é o valor do limite de liquidez.

Na Figura 150 pode ver-se uma concha de Casagrande com o solo e o sulco.



Figura 150 – Abertura de sulco com aproximadamente 1 cm

Para a determinação do limite de plasticidade utilizou-se um provete do mesmo solo, passado no peneiro nº40 da ASTM, (0,425 mm). O limite de plasticidade é a média dos teores em água de quatro porções do provete a ensaiar, cada um dos quais é o maior teor em água com que rompe o material, ao pretender-se transformá-lo num filamento cilíndrico com cerca de três milímetros de diâmetro, por rolagem entre a palma da mão e a lâmina de vidro.



Figura 151 – Realização do filamento cilíndrico

A classificação de solos quanto à plasticidade definida por Atterberg, serve de base a análise do comportamento plástico dos solos, apresentado na Tabela 24:

Tabela 24 – Classificação de Atterberg baseada no comportamento plástico dos solos (Folque, 1991)

Índice de Plasticidade	Plasticidade
0 - 1	Solo não plástico
1 - 7	Solo de baixa plasticidade
7 - 15	Solo de média plasticidade
> 15	Solo de elevada plasticidade

Nas Figura 152 e 153, estão apresentados os gráficos com a reta de regressão linear relativa ao ensaio para a determinação do limite de liquidez das amostras, ravina 3 e ravina 5, respetivamente.

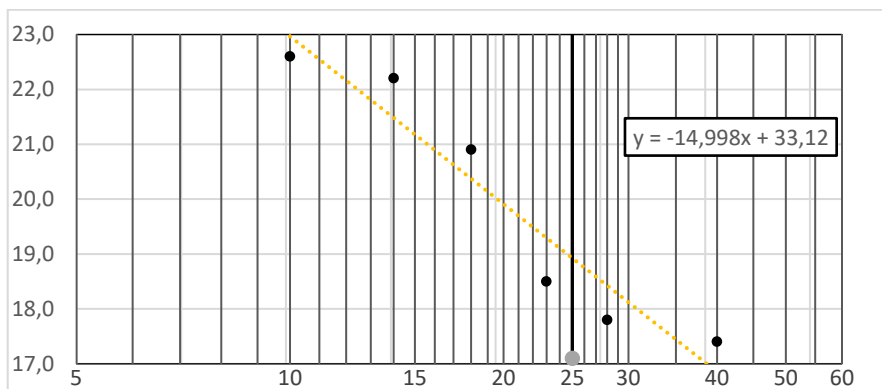


Figura 152 - Gráfico com a reta de regressão linear relativa ao limite de liquidez para a ravina 3

Limite de Plasticidade	LP	(%)	17
Limite de Liquidez	LL	(%)	19
Índice de Plasticidade	IP=LL-LP	(%)	2

Segundo a classificação de Atterberg, a amostra da ravina 3 é considerado um solo de baixa plasticidade.

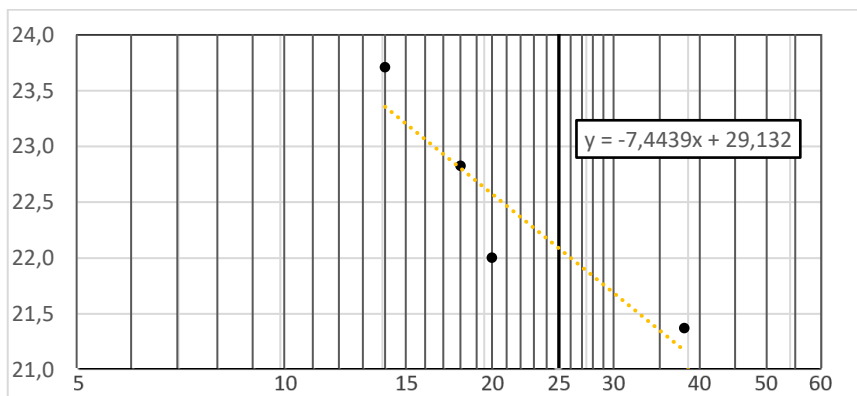


Figura 153 - Gráfico com a reta de regressão linear relativa ao limite de liquidez para a ravina 5

Limite de Plasticidade	LP	(%)	19
Limite de Liquidez	LL	(%)	22
Índice de Plasticidade	IP=LL-LP	(%)	3

Segundo a classificação de Atterberg, a amostra da ravina 5 é considerado um solo de baixa plasticidade.

Analisando os resultados do ensaio de limite de consistência, chega-se a conclusão que ambas as amostras de solo relativamente ao índice de plasticidade são classificadas como “solo de baixa plasticidade”. Comparando os resultados com a análise granulométrica, chega-se a conclusão que a falta de material fino; silte e argila, esta diretamente relacionada com a baixa plasticidade do solo. Em anexo, é apresentado o boletim de ensaio.

5.10.6. Corte direto

O movimento de uma massa que desliza ao longo de um talude é um fenómeno em que se desenvolvem esforços de corte. O solo responde a estas ações através da sua resistência ao corte que depende de fatores como a coesão e o ângulo de atrito. Estes parâmetros podem ser determinados em laboratório através de ensaios de compressão triaxial, ensaios de corte direto ou de corte direto simples. O ensaio de corte direto é de conceção muito simples e apresenta algumas limitações. Não permite controlar nem medir a tensão horizontal e a pressão intersticial da amostra nem a drenagem. No entanto, é possível consolidar a amostra para o estado de tensão efetiva de repouso, por aplicação de uma tensão normal (σ'_{vo}) e aguardar o tempo necessário para que o excesso de pressão intersticial resultante da aplicação da carga se dissipe.

O procedimento do ensaio consiste na colocação de um provete de solo numa caixa de corte, retangular, seccionada horizontalmente, conforme se pode ver na Figura 154.

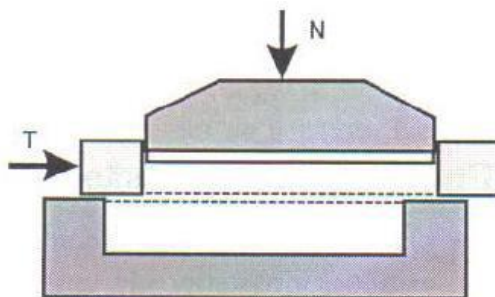


Figura 154 - Caixa de corte do ensaio de corte direto (Marangon, 2009)

Inicia-se o ensaio com a aplicação de uma força vertical (N), por ação de um conjunto de massas colocados no suporte do equipamento. De seguida é aplicada uma força horizontal (T), por ação de um motor que permite o movimento, com velocidade selecionada, originando uma deslocação da parte inferior da caixa o que produz uma rotura no plano horizontal. Na Figura 155 pode ver-se a imagem do equipamento utilizado.



Figura 155 – Equipamento para ensaio de corte direto

As forças T e N divididas pela área da secção transversal do provete permitem obter o valor das tensões σ (normal) e τ (corte), no provete ensaiado.

Os provetes obtidos de amostras desagregadas foram preparados através da utilização de um molde do ensaio Proctor normal. Começou por se encher o molde sem qualquer compactação para determinar a massa volúmica no estado solto e depois prepararam-se os provetes de forma a obter o estado de compacidade semelhante ao existente *in situ*. Não tendo sido possível a recolha de uma amostra indeformada para obter esta informação, na altura da recolha, procedeu-se a testes empíricos por aperto do solo na mão. Em laboratório com recurso ao pilão de compactação leve do ensaio Proctor, com massa de 2,49 kg, diâmetro 50 mm e altura de queda 305 mm, com adição de uma quantidade de água, compactou-se, em cinco camadas, um provete de cada amostra conforme informação que se apresenta na Tabela 25. Destes provetes cilíndricos extraíram-se os provetes para ensaio de corte direto.

Tabela 25 - Determinação da altura de queda de forma a obter o grau de compacidade semelhante ao existente no local

Amostra	Ravina 3	Ravina 5
Número de pancadas por camada	5	5
Altura de queda	30 cm	6 cm



Figura 156 – Molde cilíndrico do ensaio de Proctor normal com o solo compactado

Na Tabela 26, são indicadas as dimensões do molde utilizado no ensaio.

Tabela 26 - Cálculos do volume do molde utilizado

Dimensões	Amostrador cilíndrico	Volume
Altura média	115,375 mm	$V = (\pi r^2) * h$ $V = 939,714 \text{ cm}^3$
Diâmetro no eixo xx	101,87 mm	
Diâmetro no eixo yy	101,80 mm	
Diâmetro médio	101,835 mm	

Na Tabela 27 é apresentado o cálculo para a determinação da massa volúmica da amostra de ravina 5 no estado solto e no estado compactado.

Tabela 27 - Determinação da massa volúmica da amostra da ravina 5, no estado solto e compactado

Dados	Ravina 5 (Solto)	Ravina 5 (Compactado)
Volume do provete (V)	939,714 cm ³	939,714 cm ³
Peso do Solo + Base (P1)	5100,4 g	5591,7 g
Peso da Base (P2)	4225,0 g	4225,0 g
Peso do Solo (m)	875,4 g	1331,7 g
Massa Volúmica (m/V)	0,93 g/cm ³	1,42 g/cm ³

Na Tabela 28, é apresentado o cálculo para determinação da massa volúmica da amostra da ravina 3 no estado solto e no estado compactado.

Tabela 28 - Determinação do massa volúmica da amostra da ravina 3, no estado solto e compactado

Dados	Ravina 3 (Solto)	Ravina 3 (Compactado)
Volume do provete (V)	939,714 cm ³	939,714 cm ³
Peso do Solo + Base (P1)	5155,7 g	6202,4 g
Peso da Base (P2)	4225,0 g	4225,0 g
Peso do Solo (m)	930,7 g	1977,4 g
Massa Volúmica (m/V)	0,99 g/cm ³	2,10 g/cm ³

Pode observar-se que o solo da ravina 3, apresenta um aumento da massa volúmica relativamente a ravina 5, fruto da diferença da altura de queda do pilão.

De modo a obter o teor em água quando da realização do ensaio, foi retirada uma amostra de solo para a determinação do teor em água, e comparado o desvio relativo ao teor em água no estado natural.

Na Tabela 29 são apresentados os valores e o respetivo desvio em relação ao teor em água natural.

Tabela 29 - Quadro resumo de teor em água para ensaio o ensaio de corte direto

Amostra	Ravina 3	Ravina 5
Média de teor em água no estado natural	10,0 %	11,3 %
Média de teor em água para o ensaio de corte direto	13,0 %	8,2 %
Desvio	+ 3,0 %	- 3,1 %

O ensaio foi realizado para as duas amostras, ravina 5 e ravina 3, com três provetes de 60 mm x 60 mm x 20 mm, por cada amostra, utilizando para cada uma, as tensões normais de 1 kg/cm², 2 kg/cm² e 4 kg/cm², sem consolidação prévia e o corte por aplicação de uma força horizontal promovida pelo movimento da caixa de corte a uma velocidade constante de 0,5 mm/min.

Durante os referidos ensaios, as variáveis registadas foram os deslocamentos horizontais e verticais do provete (em milímetros) através de leitura em defletómetros e no anel dinamométrico foram lidas as forças horizontais (em kg). A força vertical foi determinada pelo valor das massas colocadas.

Os dados foram registados em folhas de cálculo de modo a poderem ser tratados posteriormente. A tensão normal (em kg/cm²) foi obtida dividindo a força normal pela área da secção do provete e a tensão de corte foi calculada (em kg/cm²) dividindo a força horizontal pela área da secção da amostra.

A relação entre a tensão τ e o deslocamento horizontal pode ser representada graficamente, Figura 157, e é possível identificar a tensão máxima de rotura τ_{\max} e a tensão residual τ_{res} que corresponde à tensão resistente do provete após o pico, isto é, quando a resistência depende apenas da granulometria das partículas.

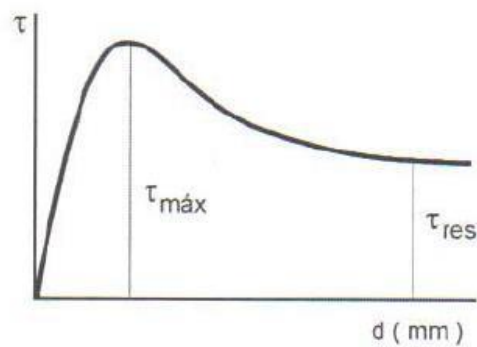


Figura 157 – Representação gráfica da tensão de corte em função do deslocamento horizontal (Marangon, 2009)

Por outro lado, ao representar o deslocamento vertical durante os ensaios, este indica o valor de alteração do volume durante a fase de corte. Na Figura 158, pode-se observar esse comportamento de uma forma genérica.

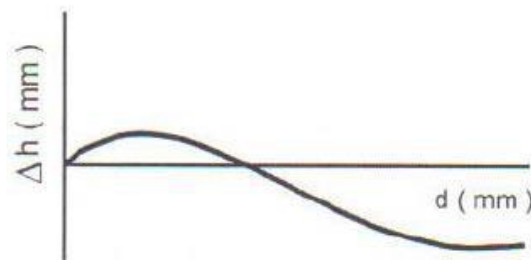


Figura 158 – Representação gráfica do deslocamento vertical em função da alteração de volume (Marangon, 2009)

Na Figura 159, pode observar-se um dos provetes do solo no início do ensaio de corte.

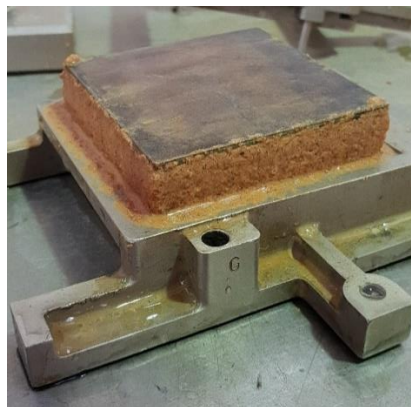


Figura 159 - Proвете de solo

Após a realização dos ensaios e do tratamento dos dados foi possível obter o gráfico da tensão de corte em função do deslocamento horizontal, para as tensões normais utilizadas. Nas Figura 160 e 161 pode ver-se os gráficos referentes aos ensaios correspondentes às amostras das ravinas 3 e 5, respetivamente.

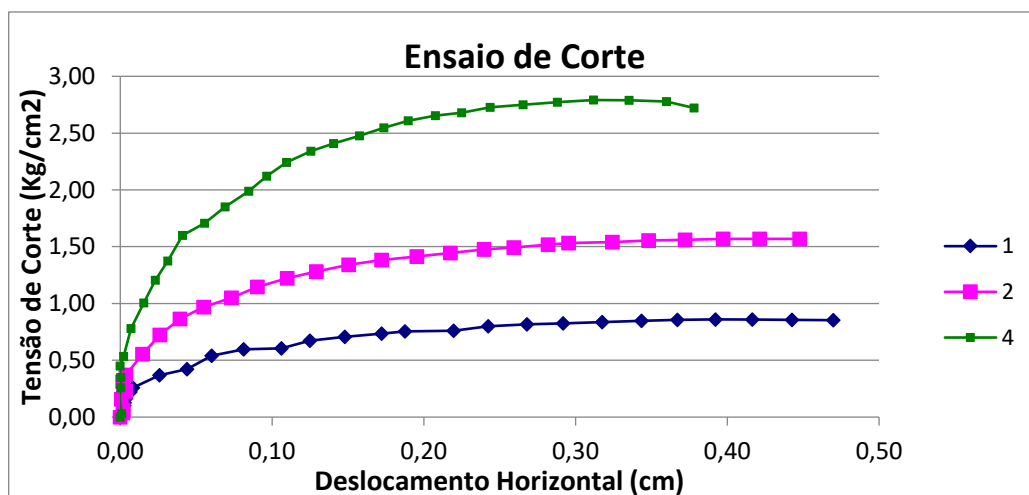


Figura 160 - Deslocamento horizontal, ravina 3

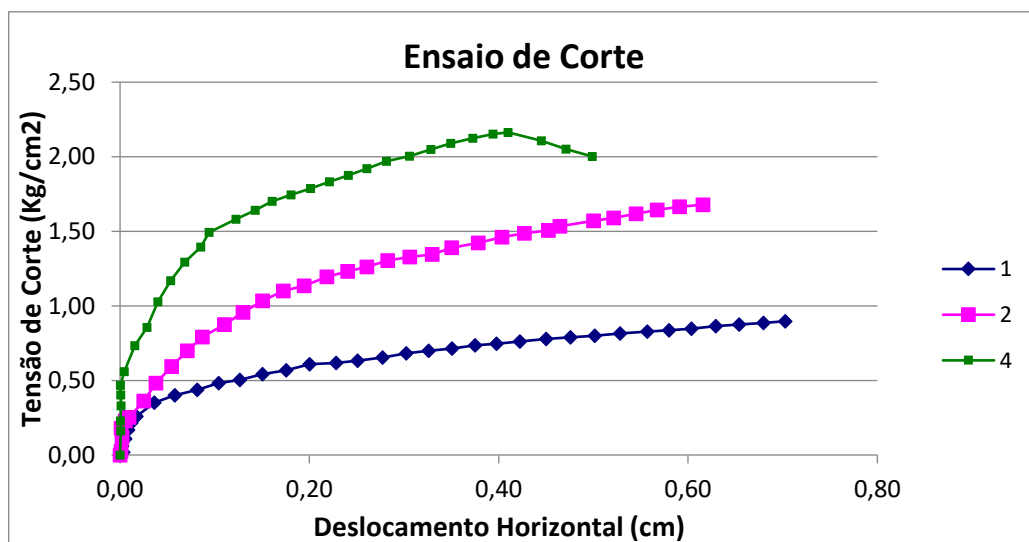


Figura 161 - Deslocamento horizontal, ravina 5

O gráfico que relaciona as tensões de corte máximas com as tensões normais está apresentado na Figura 162, para a ravina 3 e na Figura 163 para a ravina 5. O resultado

determinado para a ravina 3 é coesão de $0,249 \text{ Kg/cm}^2$ e ângulo de atrito de $32,6^\circ$. Para a ravina 5 a coesão é $0,83 \text{ Kg/cm}^2$ e o ângulo de atrito é $20,0^\circ$.

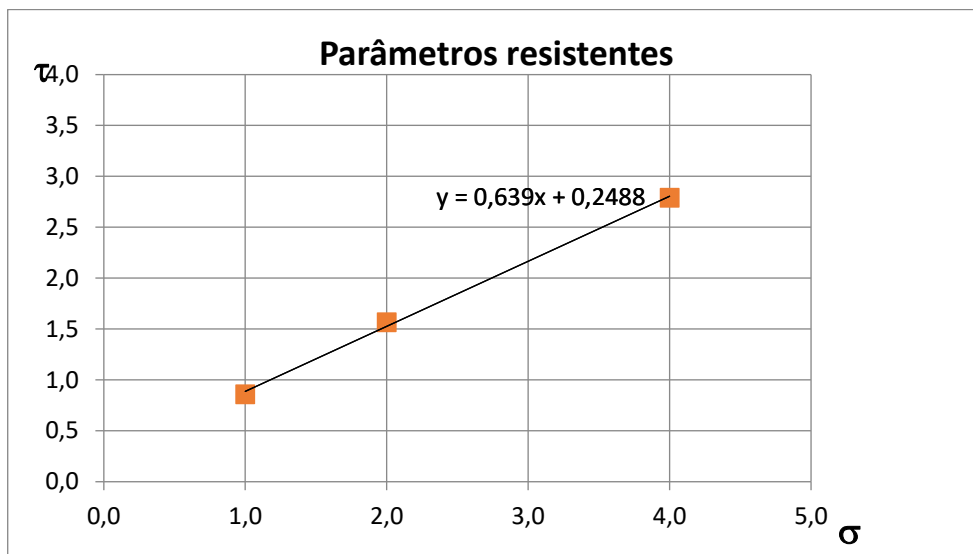


Figura 162 - Tensão de corte máxima versus tensão normal para a amostra ravina 3

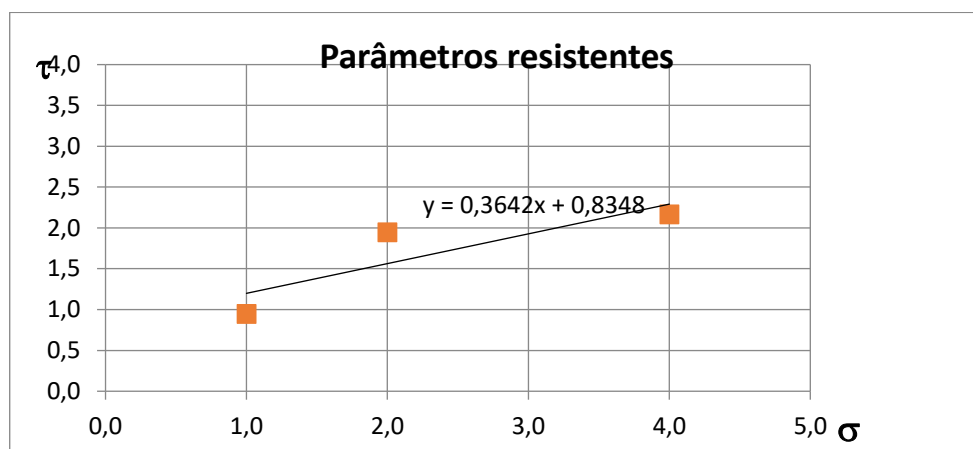


Figura 163 - Tensão de corte máxima versus tensão normal para a amostra ravina 5

Pode ser observado no gráfico de tensão/deformação uma tendência crescente até atingir um valor quase constante. Não é observado de forma evidente um ponto máximo (pico), o que está de acordo com a baixa compacidade resultante das condições de preparação dos provetes.

Em anexo, está apresentado o boletim de ensaio.

5.10.7. Medição de erosão

Não existe um procedimento para realização deste ensaio nas normas portuguesas. No entanto, a medição pode ser realizada recolhendo a água de um escoamento superficial de uma zona restrita e fazê-la passar por um tanque de sedimentação (Lencastre & Franco, 1984). Como alternativa, pode-se colocar marcos no terreno e efetuar medidas anualmente de uma marca conhecida no ponto de terreno natural.

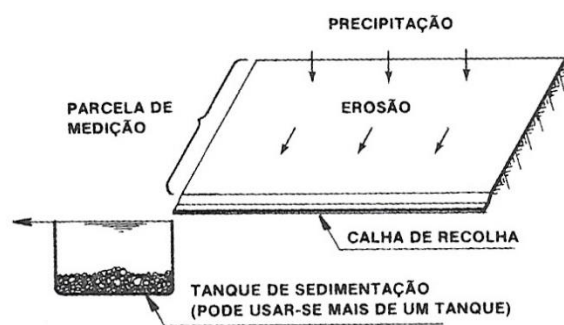


Figura 164 – Esquema de um tanque de sedimentação (A. Lencastre e F. M. Franco, 1984)

Segundo o estudo de Dunne (1978), existem valores indicativos para a perda por erosão em função do fator de utilização do solo, Tabela 30.

Tabela 30 – Valores da erosão do solo (Dunne, 1978)

Utilização do Solo	Perdas por erosão (t./ha.ano)
Floresta intacta	0,004–0,200
Mata protegida	0,0022–0,180
Ervas e arbustos	3,0–4,0
Pastagens naturais muito consumidas	29,0–170,0
Pastagens cultivadas	0,022–0,450
Alqueive nu	150–200
Cultura de milho	10–160
Cultura de arroz	1–25
Estradas florestais	17–66
Locais de construção	300–500

A medição de erosão tem como objetivo a avaliação da erodibilidade de um solo, em função da taxa de perda de solo de uma área superficial. O ensaio consiste em determinar a

quantidade de solo erodido de uma amostra de solo quando submetida a um determinado caudal de água (precipitação), inclinação e grau de compacidade.

Para a realização do ensaio, foi improvisado um sistema constituído por um reservatório de água, uma mangueira com válvula, um chuveiro, uma bacia, uma caixa de ensaio, um tubo de queda e um balde para recolha do material erodido. Na Figura 165, pode ser observado um esquema do sistema utilizado.

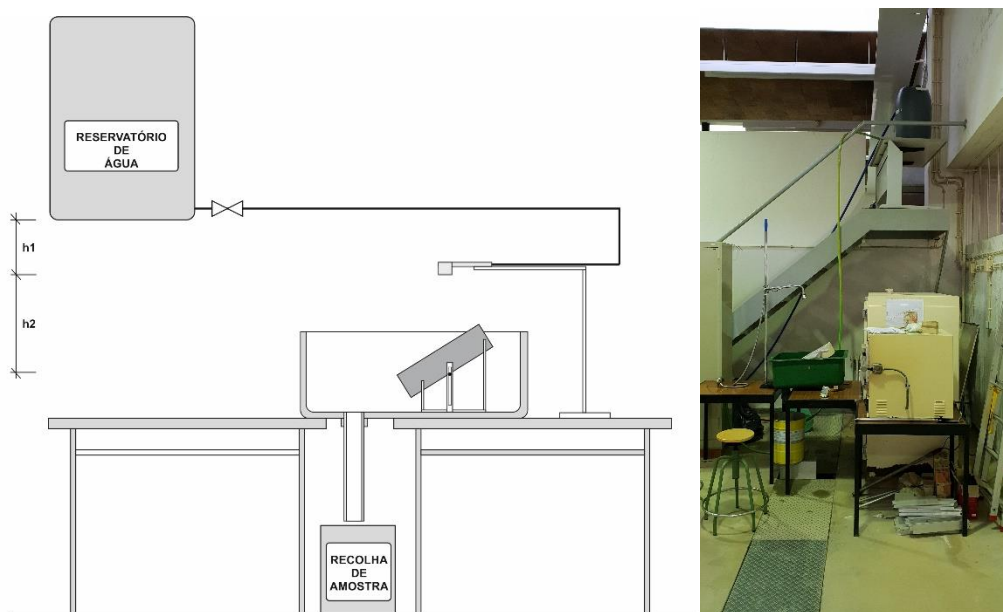


Figura 165 - Esquema do sistema do ensaio para a medição de erosão

O reservatório tem a função de armazenar água, para a realização do ensaio. O valor de h_1 (ver Figura 165), é de 1,67m, o que corresponde a uma pressão de 10,67 metros de coluna de água (m.c.a). Na Tabela 31 são apresentados os valores das alturas utilizadas no esquema do sistema do ensaio para a medição de erosão.

Tabela 31 - Valores medidos referentes ao esquema do sistema do ensaio para a medição de erosão

Descrição	Valores
h_1	1,67 m
h_2	0,42 m

O chuveiro, tem a função de simular a precipitação que ocorre em Cabinda, sendo ela de 170 mm/h. Numa primeira fase, foi medido o diâmetro de cada orifício do chuveiro, verificados e desobstruídos. Sabendo o número de orifícios existentes e a área de cada um deles, calculou-se o valor de área total do chuveiro. Para chegar ao valor da vazão foi medida durante 1 min a quantidade de água precipitada, dessa forma, concluiu-se que a vazão, é de 3200g, ou seja 3,2 l/min.

Na Tabela 32, é apresentado o quadro resumo relativo à precipitação calculada no ensaio de laboratório.

Tabela 32 – Cálculos de valor precipitação de chuveiro

Descrição	Valor do chuveiro
Ø de cada orifício	1 mm
Área de cada orifício	0,79 mm ²
nº de orifício	63
Área total	47,77 mm ²
Vazão durante 1 min	3,2 l/min
Vazão durante 1 hora (calculado)	192 l/h

O valor de referência da precipitação em Cabinda, é 170 mm/h, ou seja, uma altura de 170 mm de água num reservatório circular de 1 m² de área, durante 1h. O valor de 170 mm/h, corresponde a 170 l/h. O valor calculado em laboratório é de 192 l/h, o que corresponde de forma aproximada ao valor de referência.

A inclinação da superfície ensaiada, foi escolhida previamente, de forma a simular a situação existente no local onde a erosão ocorreu. No ensaio foi utilizada a inclinação de 25° grau, sendo esta a inclinação predominante no talude das ravinas 3 e 5.

Para simular a superfície do talude, foi construída uma caixa com dimensões 11 cm x 30 cm x 8 cm, medidas interiores. A caixa tem a particularidade de ter a tampa frontal removível (ver Figura 166), para que esta não funcione como barreira ao solo arrastado. Antes da colocação do solo, a caixa foi revestida com geotêxtil de 150g/m² da Geoplás 11 PP STD.

O geotêxtil tem a função de criar rugosidade nas paredes da caixa, ou seja maior ligação entre o solo e o geotêxtil, e tem ainda a função de filtro, isto é, deixa circular a água para fora da caixa, sem que haja transporte de solo.



Figura 166 – Caixa com geotêxtil, para simulação da superfície do ensaio de erosão

Para a realização do ensaio seguiu-se o critério adotado para a compactação dos provetes utilizados no ensaio de corte direto.

O solo foi dividido em 5 camadas, sendo cada camada compactada de forma homogénea em toda a superfície da caixa, numa relação de 1 pancada por área. A altura de queda utilizada, no caso do solo da ravina 3 foi de 30 cm e na ravina 5, 6 cm.

Para controlo do teor em água, foi utilizado o solo em estado natural e medido o seu teor em água, resumido na Tabela 33.

Tabela 33 - Comparação do teor em água natural com o teor em água utilizado no ensaio de erosão

Amostra	Ravina 3	Ravina 5
Média de teor em água no estado natural	10,0 %	11,3 %
Média de teor em água para o ensaio de erosão	11,3%	13,9%
Desvio	+ 1,3 %	+ 2,6 %

Antes de dar início ao ensaio, fez-se as medições do provete. Na Tabela 34 estão apresentados as massas iniciais de cada amostra, das ravinas 3 e 5. Para aferir os cálculos de quantidade de solo arrastado, é importante anotar também a massa do balde em que se fez a recolha da amostra.

Tabela 34 - Massa inicial do provete e do balde de recolha de solo

Amostra	Ravina 3	Ravina 5
Massa da caixa com geotêxtil	827,56 g	910,10 g
Massa da caixa com geotêxtil + solo	3704,00	6306,60
Massa do solo	2876,44	5396,50
Massa do balde	1031,60	1054,20

Após a determinação das massas iniciais, deu-se início ao ensaio, que demorou 6 min. Observou-se os impactos das gotas de água na superfície do solo. Serão apresentados nas conclusões alguns comentários acerca deste comportamento.



Figura 167 – Impacto das gotas de água na superfície do solo de ensaio

Quando terminou o ensaio, foram anotadas as pesagens, referentes ao solo transportado e recolhido no balde. Na Tabela 35, estão apresentados as massas, após o ensaio.

Tabela 35 - Massas após o ensaio

Amostra	Ravina 3	Ravina 5
Massa do balde	1031,60	1054,20
Massa do balde + água + solo	21779,80	15641,30
Água + solo	20748,20	14587,10

Parte do solo transportado durante o ensaio, ficou retido na bacia, no entanto, usando o chuveiro, limpou-se toda a bacia de forma a recolher todo o material transportado pelo ensaio, conforme indica a Figura 168.



Figura 168 – Solo transportado durante o ensaio

Após secagem em estufa, foram anotadas as massas do solo seco. Dessa forma é possível calcular a percentagem de solo erodido, no ensaio de 6 min, que será convertida para uma taxa de erosão por min. Na Tabela 36 é apresentado o valor obtido no cálculo para a perda de solo (K).

Tabela 36 - Valores obtidos para cálculo da perda de solo (K)

Amostra	Ravina 3	Ravina 5
Massa do solo (antes do ensaio)	2876,44	5396,50
Massa do solo transportado (após secagem em estufa)	358,00	1467,20
Percentagem de solo transportado em 6 min	12,45 %	32,53 %
Percentagem de solo transportado em 1 min	2,07 %	5,42 %
Perda de Solo (K)	0,18 g/cm ² /min	0,88 g/cm ² /min

Na Tabela 37, são apresentados os valores de referência estabelecidos por Bastos (1999).

Tabela 37 - Valores de referência para perdas de solo por erosão (Bastos, 1999)

Valor de referência de K	Nível de erodibilidade
$K < 0,001 \text{ g/cm}^2/\text{min}$	Baixa erodibilidade
$0,001 < K < 0,1 \text{ g/cm}^2/\text{min}$	Mediana erodibilidade
$K > 0,1 \text{ g/cm}^2/\text{min}$	Alta erodibilidade

A Tabela 38 apresenta o comparativo entre os resultados obtidos e os valores de referência. É notório que o solo das ravinas 3 e 5 ultrapassam os valores de referência.

Tabela 38 - Comparação dos resultados obtidos com os valores de referência

Amostra	Perda de Solo (K) Valor calculado	Perda de Solo (K) Valore de referência	Nível de erodibilidade
Ravina 3	0,18 g/cm ² /min	K > 0,1 g/cm ² /min	Alta erodibilidade
Ravina 5	0,88 g/cm ² /min	K > 0,1 g/cm ² /min	Alta erodibilidade

Como conclusão, pode-se observar que os solos das ravinas 3 e 5 são muito suscetíveis à erosão e apresentam alto risco de erodibilidade. No entanto, é importante sublinhar que o solo da ravina 5 teve uma compactação muito leve, resultando uma perda de solo mais elevada. O solo da ravina 3 teve maior compactação, o que ajudou a baixar o parâmetro K, mas o fenómeno manteve-se.

Durante o ensaio observou-se que o impacto da chuva, causou a desagregação das partículas de solo compactadas. Esse impacto, na fase inicial, desagrega o maciço de seguida, pela ação do escoamento superficial das águas, ocorre o transporte das partículas de solo.

A Figura 169 corresponde à fase inicial, o solo a ser desagregado por impacto das gotas de água e a Figura 170, corresponde a esse efeito, 6 segundos depois, o solo foi transportado.



Figura 169 – Desagregação de solo numa primeira etapa



Figura 170 – Desagregação de solo 6 segundos depois

Tratou-se apenas de um ensaio para se perceber o fenómeno da erosão e o efeito das características dos solos, nomeadamente a compacidade. Não se tendo utilizado o estado de compacidade real os dados aqui apresentados não podem ser extrapolados para a situação real.

O trabalho que gostaríamos de ter realizado, se as condições o permitissem, incluía a realização do ensaio com o solo no estado real no que corresponde à arrumação das partículas e a comparação com os estados extremos mais denso e solto. Prevvia-se, também, a repetição do ensaio após o revestimento da superfície do solo com vegetação.

5.10.8. Classificação do solo

Após a realização dos ensaios é possível classificar o solo de acordo com a especificação E240, LNEC, 1971, para fins rodoviários e pela Norma ASTM D 2478 para utilização como material de aterro, recorrendo, essencialmente, às características da composição granulométrica e limites de consistência.

5.10.8.1. Classificação para fins rodoviários (E240, 1971)

- Do ensaio da análise granulométrica concluiu-se que o solo da amostra da ravina 3, terá a designação de areia, enquanto a amostra da ravina 5 areia siltosa.
- É apresentado na Tabela 39 o quadro resumo com os valores dos limites de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade.

Tabela 39 - Quadro resumo do ensaio limites de consistência

Amostra	LL	LP	IP
Ravina 3	19	17	2
Ravina 5	22	19	3

Para determinação do Índice de Grupo (IG):

$$IG = 0,2. a + 0,005. a. c + 0,01. b. d \quad (5.2)$$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a percentagem que passa no peneiro nº.200.

a = $p - 35$ (se $p > 75\%$, adota-se 75 e se $p < 35\%$, adota-se 35)

b = $p - 15$ (se $p > 55\%$, adota-se 55 e se $p < 15\%$, adota-se 15)

c = $LL - 40$ (se $LL > 60\%$, adota-se 60 e se $LL < 40\%$, adota-se 40)

d = $IP - 10$ (se $IP > 30$, adota-se 30 e se $IP < 10$, adota-se 10)

Os valores de $0 < IG < 20$, o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

Na Tabela 40, é apresentado o quadro resumo dos parâmetros necessários para determinação do índice de grupo (IG):

Tabela 40 - Quadro resumo dos parâmetros p, a, b, c e d para determinação do IG

Parâmetro	p	a	b	c	d
Ravina 3	18	0	3	0	0
Ravina 5	37	2	22	0	0

Na Tabela 41 é apresentado o índice de grupo relativo as amostras ravina 3 e 5:

Tabela 41 - Índice de grupo relativo a cada amostra

Amostra	Índice de Grupo
Ravina 3	0
Ravina 5	1

Segundo o quadro da Norma E240 - 1970, o solo da ravina 3 é classificado como A – 2 – 4 (0), passo que o solo da ravina 5, A – 4 (1).

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0	4 máx.			8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Figura 171 – Classificação dos solos segundo ASSHTO

Desta classificação e de acordo com o quadro E240, pode-se concluir que o solo da ravina 3 é constituído por, areia, com um índice de grupo (IG) de 0, e apresenta um comportamento excelente a bom, quando aplicado sob pavimentos rodoviários. Em relação ao solo da ravina 5 é um solo siltoso com um índice de grupo (IG) de 1 e apresenta um comportamento fraco a pobre, quando aplicado sob pavimentos rodoviários.

5.10.8.2. Classificação unificada (ASTM D 2478)

A Classificação Unificada refere-se à utilização dos solos como materiais de aterro, com base nos limites de consistência e na composição granulométrica.

Na Tabela 42, é apresentada a classificação do solo das ravinas 3 e 5.

Tabela 42 – Classificação de solos (ASTM D 2487)

Critérios para designação dos símbolos e nome dos grupos utilizando ensaios de laboratório (a)				Classificação do solo	
				Símbolo do grupo	Nome do grupo (b)
SOLOS GROSSOS mais de 50% retido no peneiro nº 200	Cascalho mais de 50% da fração grossa retida no peneiro nº4	Cascalhos limpos (c) menos de 5% de finos	$C_u \geq 4$ e $1 \leq C_c \leq 3$ (e)	GW	Cascalho bem graduado (f)
			$C_u < 4$ e/ou $1 > C_c > 3$ (e)	GQ	Cascalho mal graduado (f)
		Cascalhos com finos (c) mais de 12% de finos	Finos classificados como ML ou MH	GM	Cascalho siltoso (f), (g), (h)
			Finos Classificados como CL ou CH	GC	Cascalho argiloso (f), (g), (h)
	Areias 50% ou mais da fração grossa passa no peneiro nº4	Areias limpas (d) menos de 5% de finos	$C_u \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3$ (e)	SW	Areia bem graduada (i)
			$C_u < 6$ e/ou $1 > C_c > 3$ (e)	SP	Areia mal graduada (i)
		Areias com finos (c) mais de 12% de finos	Finos classificados como ML ou MH	SM	Areia siltosa (g), (h), (i)
			Finos Classificados como CL ou CH	SC	Areia argilosa (g), (h), (i)
SOLOS FINOS 50% ou mais passado no peneiro nº200	Siltes e Argilas	Inorgânico	IP>7 e situa-se na linha A ou acima desta (i)	CL	Argila magra (k), (l), (i)
			IP<4 ou situa-se abaixo da linha A (j)	ML	Silte (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{W_L(seco\ em\ estufa)}{W_L(sem\ secagem)} < 0,75$	OL	Argila orgânica (k), (l), (m), (n) Silte orgânico (k), (l), (m), (o)
	Siltes e Argilas	Inorgânico	IP situa-se na linha A ou acima desta	CH	Argila gorda (k), (l), (m)
			IP situa-se abaixo da linha A	MH	Silte elástico (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{W_L(seco\ em\ estufa)}{W_L(sem\ secagem)} < 0,75$	OH	Argila orgânica (k), (l), (m), (p) Silte orgânico (k), (l), (m), (q)
Solos altamente orgânicos, principalmente matéria orgânica, cor escura e odor orgânico				Pt	Trufa

As amostras das ravinas 3 e 5, são classificadas como SM, areia siltosa, com características de um solo que é semipermeável a impermeável quando compactado e apresenta uma resistência ao corte boa a razoável quando compactado e saturado, tem uma baixa compressibilidade e apresenta uma trabalhabilidade razoável como material de construção. (Fernandes, Matos, 1994).

5.10.9. Conclusões

Os ensaios realizados permitiram, observar o comportamento do solo e as suas propriedades mecânicas e físicas.

Foi possível determinar os parâmetros resistentes do solo, num estado de compactidade definido.

A realização de um ensaio para a avaliação da erodibilidade do solo alertou para um conjunto de pormenores a melhorar em próximas oportunidades mas pareceu-nos útil porque permitiu observar o comportamento do solo face à ação de valores de pluviosidade e energia conhecidos.

A análise granulométrica, embora seja um ensaio simples utilizado para a classificação de solos permite observar a forma e a extensão da curva de distribuição da granulometria. Esta informação é útil para se perceber se o solo tem granulometria extensa e distribuída de forma proporcional permitindo a arrumação e o encaixe das partículas o que contribui para baixos valores de índice de vazios e de porosidade e valores elevados do peso volúmico. Ou, por outro lado, a granulometria concentra-se num valor restrito de diâmetros e o solo, no seu estado natural, apresenta-se com baixa compactidade e elevado índice de vazios e porosidade. A resistência ao corte é influenciada pela dimensão, forma, angulosidade e arrumação das partículas. As porosidades elevadas facilitam a acumulação e a circulação da água no solo e consequentemente os processos erosivos.

Concluiu-se que o solo em estudo apresenta uma granulometria pouco extensa o que pode corresponder a uma baixa compactidade na situação real e elevada porosidade com alto risco de erosão. Nesse sentido, deve ser considerado este fator em casos futuros de obras de infraestruturas, para reduzir a probabilidade de erosão e os impactes sociais.

Ao verificar-se a existência de uma diferença entre os valores característicos do solo considerados na fase de projecto de execução e os valores obtidos nos ensaios laboratoriais, achou-se por bem, fazer uma simulação com recurso a *software*, de forma a obter os respectivos fatores de segurança, para cada situação.

Na Tabela 43 é apresentado um quadro comparativo dos valores utilizados em cada situação.

Tabela 43 - Valores usados no projecto de execução *versus* valores obtidos nos ensaios laboratoriais

Ravina 3	Valores usados no projecto	Valores obtidos em ensaios
Peso específico (kN/m³)	18,00	20,60
Coesão (kN/m²)	0	0,25
Ângulo de Atrito (°)	30	32,6

Com recurso ao *software* SLOPE, da Geo Stru, foi simulado e obtido o fator de segurança mínimo para as duas situações. Na Figura 172 é apresentado a simulação tendo em conta os valores considerados no projecto de execução.

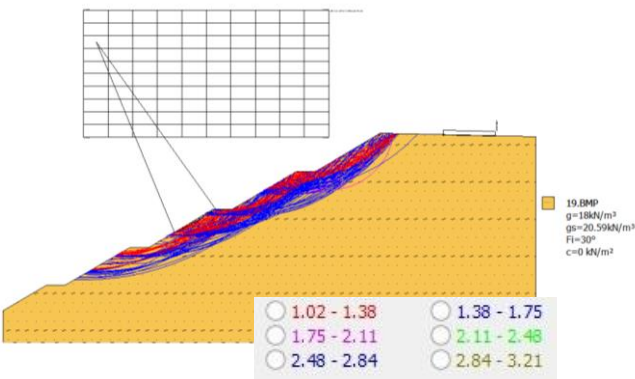


Figura 172 - Simulação em SLOPE, para os valores considerados no projecto de execução

E na Figura 173 é apresentado a simulação tendo em conta os valores obtidos nos ensaios laboratoriais.

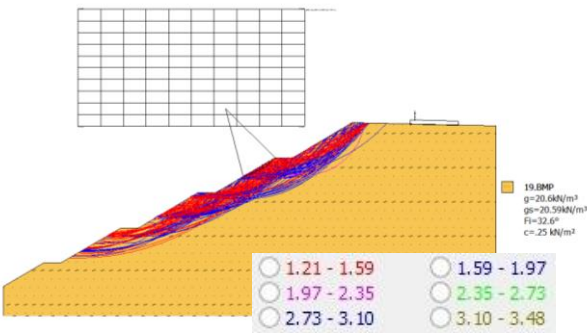


Figura 173 - Simulação em SLOPE, para os valores obtidos nos ensaios laboratoriais

Desta simulação resultou um fator de segurança mínimo de 1,02 para a situação onde foram considerados os valores característicos (projecto de execução), e 1,21, para a situação onde foram considerados os valores obtidos nos ensaios de laboratório. Podemos afirmar que os valores utilizados no projecto de execução, são os mais desfavoráveis, e validam a solução pelo lado da segurança.

5.11. Programa de prevenção e monitorização geotécnica

5.11.1. Introdução

Este programa tem por objetivo definir os procedimentos necessários para a monitorização geotécnica das áreas da ravina 3 do Morro do Tchizo, durante e após a conclusão das obras de recuperação ambiental, no que se refere à ocorrência de eventuais roturas de taludes, erosões e assoreamentos.

Também são definidos os procedimentos necessários à monitorização de outras operações e processos relacionados com as obras, como o transporte e a deposição dos detritos e materiais e a utilização de materiais de construção.

5.11.2. Metodologia dos trabalhos

As medidas de acompanhamento geotécnico das obras serão realizadas em conformidade com os padrões e metodologias usuais e com as normas técnicas pertinentes. Consistirão, basicamente, em procedimentos de observação e medição, os quais permitirão a identificação dos processos envolvidos, a sua investigação, o diagnóstico e a quantificação, de forma a estabelecerem-se as medidas de remediação, de controlo e de prevenção necessárias. As ações a serem desenvolvidas compreenderão:

- Observação periódica de eventuais erosões, roturas, escorregamentos e riscos para a população local na área da ravina e do canal a jusante;
- Controlo de eventuais erosões e assoreamentos, para a verificação de volumes, taludes e evolução dos processos;
- Instalação, acompanhamento e análise de eventual instrumentação para a verificação de volumes, características de materiais e movimentações quanto à sua magnitude e evolução;
- Eventual verificação da estabilidade de taludes e parâmetros de resistência dos solos;
- Acompanhamento do transporte e deposição dos detritos e materiais;
- Verificação da forma de utilização e da qualidade dos materiais de construção.

Na Figura 174 que se segue apresenta-se a ficha tipo proposta para a utilização durante os trabalhos de monitorização. Será utilizada para registo das informações obtidas e posterior apresentação em relatórios. Poderá ser adequada em função da natureza, frequência e fatores intervenientes nas ocorrências registadas.

Ravina	Local:	Data:	Responsável		
Processos do Meio Físico					
Erosão					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Laminar	<input type="checkbox"/>	Linear ou Profunda	<input type="checkbox"/>	Tubular Regressiva	Obs.
Assoreamento					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Instabilidade de Taludes (Ruturas e escorregamentos)					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Características do Processo Erosivo					
Forma					
Em “U”	<input type="checkbox"/>	Em “V”	<input type="checkbox"/>	Tubular	Obs.
Extensão	<input type="checkbox"/>	Largura	<input type="checkbox"/>	Profundidade	Obs.
Características Físicas (Obtidas por inspeção tátil-visual)					
Granulometria:					
Cor:					
Compacidade:					
Estrutura:					
Outros:					
Presença de água					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Humidade	<input type="checkbox"/>	Gotas	<input type="checkbox"/>	Jorrar	Obs.
Características do Assoreamento					
Extensão	<input type="checkbox"/>	Largura	<input type="checkbox"/>	Espessura	Localização da drenagem
Características da Instabilização (Ruturas e escorregamentos)					
Extensão	<input type="checkbox"/>	Desnível	<input type="checkbox"/>	Volume aproximado	Obs.
Sulcos de	<input type="checkbox"/>	Sulcos de	<input type="checkbox"/>	Rotura	Escorregamento
Abatimento	<input type="checkbox"/>	Basculamento	<input type="checkbox"/>	Degrau	Punçoamento
					Levantamento
					Outros
Causas					
Cobertura Vegetal					
Deficiente	<input type="checkbox"/>	Ausente	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Drenagem superficial					
Insuficiente	<input type="checkbox"/>	Inexistente	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Obstrução de drenagem					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Betão					
Deficiente	<input type="checkbox"/>	Ausente	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Argamassa					
Deficiente	<input type="checkbox"/>	Ausente	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Outro					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Gravidade para a estrada e população local					
Oferece	<input type="checkbox"/>	Não oferece perigo	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Estrada	<input type="checkbox"/>	Áreas adjacentes	<input type="checkbox"/>	Moradores locais	Trabalhadores
					Outros
Recomendações					
Desobstrução					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Desassoreamento					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Mecânica	<input type="checkbox"/>	Manual	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Revegetação					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Proteção superficial					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Alteração da geometria do talude					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Obras de contenção					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Dispositivos de drenagem					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Necessidade de estudos complementares					
Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Obs.	
Observações					

Figura 174 – Ficha de monitorização geotécnica (BDM, 2017)

5.11.3. Trabalhos de monitorização geotécnica

5.11.3.1. Alterações na drenagem e escoamento superficial

A construção dos cortes e aterros irá promover alterações na drenagem e nas condições de escoamento superficial, o que poderá originar eventuais processos de erosão e assoreamentos localizados.

A monitorização da área deverá ser realizada por meio de inspeções e levantamentos sistemáticos durante a etapa de construção, registando-se em esboço e em planta georreferenciada os tipos de erosão, a forma da secção, a extensão, a largura, a profundidade, a eventual ocorrência de água, a presença de depósito de material de assoreamento associado e os tipos de material e as suas características.

As inspeções deverão ser realizadas semanalmente e durante ou imediatamente após os eventos de precipitações pluviométricas intensas e períodos de chuva continuada.

Os elementos obtidos durante as inspeções deverão ser consubstanciados em relatórios com a seguinte informação:

- Localização das obras em planta georreferenciada;
- *Croquis* e cortes típicos esquemáticos das ocorrências;
- Identificação e caracterização detalhada das ocorrências;
- Fotografias gerais e detalhadas;
- Descrição dos materiais envolvidos;
- Diagnóstico sobre a origem dos processos e prognóstico sobre a sua evolução;
- Recomendações de medidas para mitigação, controlo e prevenção.

As áreas que apresentarem eventuais erosões deverão ser recuperadas e devidamente drenadas.

5.11.3.2. Erosões e roturas de taludes

Os processos erosivos tendem a instalar-se em áreas desprovidas de proteção superficial, que sofrem a ação física da água e perdem material sólido que se acumula nas drenagens, formando depósitos de assoreamento. Por outro lado, o processo erosivo, eventualmente instalado nos taludes de cortes e aterros, poderá evoluir para instabilidades, que não controladas, podem levar a roturas.

As erosões podem ser laminares, quando causadas por escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva das camadas mais superficiais de material, ou lineares, quando causadas pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, provocando incisões na superfície do talude.

Em função da forma e das dimensões atingidas, as erosões lineares podem ser denominadas sulcos, grotas, ravinas, etc., sendo que quando apresentam forma de «V», o processo é recente e se encontra ativo. Profundidades maiores são indicativas de estágios mais evoluídos.

Os taludes de cortes e aterros e as encostas da área estarão sujeitos a processos erosivos relacionados com a incidência de chuvas. Também poderão ocorrer eventuais roturas durante a execução das obras e após o seu término, relacionadas com a falta de proteção superficial nos taludes e erosões.

Além dos riscos de rotura eventual dos taludes, os materiais gerados por erosões, em especial as do tipo laminar, tendem a encaminhar-se para as linhas de água, drenagem da encosta e macro-drenagem, formando depósitos de assoreamento.

Os eventuais processos de erosão deverão ser identificados por meio de inspeções sistemáticas a serem realizadas nos taludes, banquetas, encostas e drenagens, bem como nos elementos dos sistemas de drenagem superficial como valetas, valas, canais, escadas hidráulicas, etc., onde irão depositar-se os materiais transportados indicativos desses processos.

Para a identificação da erosão laminar que ocorre em superfícies expostas pelo escoamento das águas superficiais sem concentração de fluxo, deverão ser observadas evidências como as alterações na coloração do material superficial para tons mais claros; as texturas e

estruturas mais pronunciadas, com destaque das partículas granulares maiores e a exposição de raízes da vegetação instalada nos taludes.

As erosões profundas que se formam ao longo das faixas onde ocorrem concentrações de fluxo das águas superficiais, podem comprometer a estabilidade do talude, poderão ser identificadas pela ocorrência de sulcos, grotas, massas de materiais descalçados ou «em balanço», solapamentos, fissuras e roturas por descalçamento e escorregamento.

A monitorização consistirá, basicamente, em inspeções sistemáticas, as quais deverão ser mapeadas em *croquis* e planta georreferenciada, e as seguintes características e ocorrências caracterizadas detalhadamente:

- Tipos de erosão, forma da secção, extensão, largura, profundidade, eventual ocorrência de água, estágio de evolução e presença de depósito de material de assoreamento associado;
- Características granulométricas, cor, grau de compacidade ou consistência, estruturas e outras características obtidas por inspeção tátil ou visual dos materiais envolvidos (material exposto pela erosão e material do depósito correspondente);
- Sulcos de tração (fendas abertas), com indicação da forma, comprimento, abertura em milímetros, evidências de deslocamentos associados, evidências de infiltração de água e carreamento de materiais;
- Sulcos de corte (fechadas, com abatimento de um dos lados ao longo da superfície de rotura), com indicação da forma, comprimento, deslocamento vertical em milímetros e evidências de deslocamentos associados;
- Roturas e escorregamentos relacionados com os sulcos, com os seus limites e superfície de rotura, secção típica transversal pela rotura, volume aproximado do material mobilizado, tipo de rotura e de material rompido e causa provável;
- Presença de água e zonas saturadas, com indicação das áreas nos casos de humidade; formas de ocorrência da exsurgência de água (escorrimento, gotejamento) com indicação de vazão (em l/s) e carga hidráulica (em metros) se necessário;

- Deterioração da vegetação de proteção, betão, etc., com *croquis* das áreas de ocorrência, volumes, extensões, estado de conservação e identificação das causas das ocorrências registadas.

Na eventualidade de uma rotura profunda, deverão ser realizadas análises de estabilidade baseadas em sondagens à percussão, e também poderão ser realizados ensaios de caracterização sobre amostras deformadas, ensaios de compressão triaxial drenados (CD) e não drenados (CU) com consolidação, com saturação por contrapressão e medição de pressões intersticiais sobre amostras indeformadas.

Como as erosões promovem o assoreamento de drenagens e este tem carácter cumulativo, a sua monitorização também compreenderá inspeções sistemáticas no canal da drenagem principal da encosta e nos elementos de drenagem superficial, como, valetas, canais e escadas hidráulicas, onde irão depositar-se os materiais oriundos de processos erosivos.

Os depósitos mapeados serão caracterizados quanto à sua extensão, largura, espessura e tipo de material, determinando-se também a sua origem e estágio evolutivo. Deverão ser elaborados *croquis* e cortes esquemáticos típicos.

Durante a fase de obra, as inspeções deverão ser realizadas semanalmente e durante ou imediatamente após os eventos de precipitações pluviométricas intensas e períodos de chuva continuada.

Os elementos obtidos durante as inspeções deverão ser consubstanciados em relatórios que devem incluir a seguinte informação:

- Localização das obras em planta georreferenciada;
- *Croquis* e cortes típicos esquemáticos das ocorrências;
- Identificação e caracterização detalhada das ocorrências e do seu estado de evolução;
- Fotografias gerais e de detalhes;
- Descrição táctil ou visual dos materiais envolvidos quanto à granulometria, cor, grau de compacidade ou consistência, etc.;
- Diagnóstico sobre a origem dos processos e prognóstico sobre a sua evolução;

- Perfis individuais das sondagens, boletins de análises e ensaios de laboratório e análises de estabilidade realizadas;
- Recomendações de medidas para mitigação, controlo e prevenção.

Como medidas preventivas, prevê-se a proteção das banquetas, taludes e encostas com relva em placas. As drenagens e quaisquer elementos hidráulicos que apresentarem obstrução por materiais de assoreamento provenientes de eventuais erosões e roturas de taludes serão desobstruídos por escavação manual ou mecânica.

Os taludes e encostas onde os processos erosivos, eventualmente evoluírem para roturas, serão devidamente recuperados e protegidos contra novas erosões, sendo utilizados o reperfilamento do talude e eventuais obras de contenção, se necessário.

5.12. Evolução e implementação do processo de tratamento

A solução técnica apresentada anteriormente foi alvo de execução e implementação dos processos de tratamento descritos. Deste modo, é apresentada a descrição dos trabalhos segundo uma linha temporal.

Evolução e implementação do processo de tratamento

Novembro de 2016



Figura 175 – O processo de erosão afeta as infraestruturas rodoviárias e as telecomunicações (BDM, 2016)



Figura 176 – Vista montante da ravina. Devido à falta de recolha de resíduos sólidos, a população despeja sobre a ravina resíduos domésticos (BDM, 2016)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Março de 2017



Figura 177 – Implementação de medida de emergência a montante da ravina (BDM, 2017)



Figura 178 – Implementação de medida de emergência a jusante da ravina (BDM, 2017)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Março de 2017



Figura 179 – As fundações da unidade familiar visíveis (BDM, 2017)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Março de 2017



Figura 180 – Vista a montante da ravina (BDM, 2017)



Figura 181 – Vista aérea da ravina (BDM, 2017)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Fevereiro de 2018



Figura 182 – Execução da escada hidráulica (BDM, 2018)



Figura 183 – Execução de aterro dos taludes e proteção superficial com lona (BDM, 2018)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Fevereiro de 2018



Figura 184 – Vista geral a jusante (BDM, 2018)

Evolução e implantação do processo de tratamento

Fevereiro de 2018



Figura 185 – Enquadramento da escada hidráulica com recomposição do talude (BDM, 2018)



Figura 186 – Vista geral a jusante (BDM, 2018)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Fevereiro de 2018



Figura 187 – Vista geral de jusante para montante (BDM, 2018)



Figura 188 – Vista aérea da área de intervenção (BDM, 2018)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Fevereiro de 2018



Figura 189 – Vista geral (BDM, 2018)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Abril de 2018



Figura 190 – Processo de sementeira com cobertura vegetal (BDM, 2018)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Abril de 2018



Figura 191 – Vista para montante com escada hidráulica em betão armado e proteção do talude com cobertura vegetal (BDM, 2018)

Evolução e implementação do processo de tratamento

Abril de 2018



Figura 192 – Execução do canal a jusante até ligação ao canal de macro-drenagem (BDM, 2018)

6. Análise de risco de pontos suscetíveis a erosão

6.1.Introdução

O desenvolvimento da ocupação territorial de forma descontrolada ou não planeada está a originar consequências sociais e económicas, que diariamente são reveladas através de fenómenos «devastadores» de grande impacte. Nos dias de hoje, essa preocupação tem aumentado e, como tal, mais do que remediar ou corrigir, é importante antecipar esses acontecimentos.

A erosão, uma das maiores causas destes fenómenos, geralmente tem origem em áreas onde ocorreu intervenção humana, tornando crítico ou frágil um ponto natural quando sujeito a fatores, como, a ação hídrica. Exemplo disso são a desflorestação, os fogos florestais, as práticas agrícolas desadequadas e a construção urbanística ou de infraestruturas inadequadas, que quando sujeitas à ação hídrica resultam em erosão laminar ou em ravinas.

Este paradigma é transversal em todo o mundo, no entanto, as consequências são mais visíveis nos continentes africano e americano.

Os Estados Unidos da América (EUA) foram dos primeiros países a abordar esta temática e a desenvolver modelos que permitem quantificar as perdas de solo. A equação universal (EUPS) ganha assim lugar de destaque nos estudos de erosão do solo na América e no mundo. Tendo por base fatores como a erosividade (R), erodibilidade (K), topografia (LS), coberto vegetal (C) e práticas agrícolas/medidas de controlo da erosão (P), permite estimar a perda média de solo anual em toneladas.

Conjugando os fatores apresentados com modelos digitais de terreno 3D, podem ser desenvolvidas bases de dados em plataformas de sistemas de informação geográfica (SIG), que permitem representar sob forma de mapa os pontos suscetíveis à ocorrência de erosão, sendo esse o objetivo desta breve abordagem teórico-prática.

6.2.Sistema de informação geográfica - SIG

O sistema de informação geográfica (SIG) deriva do inglês *Geographic Information System* (*GIS*), que consiste num processo de gestão de bases de dados, onde o produto final gerado

permite, de forma georreferenciada, a análise e representação de resultados importantes para tomadas de decisão.

Tomando como exemplo a análise de áreas de risco, a base SIG permite, através de várias camadas (*layers*), e de forma georreferenciada, registar ou caracterizar os vários fatores de risco. Desse modo, a interceção desses fatores, juntamente com a análise dos dados, resulta num mapa de risco de erosão, onde podem ser representadas as áreas suscetíveis à ocorrência desse fenómeno, numa escala de 1 a 5, sendo 1 a menos favorável e 5 a mais favorável.

É importante sublinhar que as bases de dados são dinâmicas, ou seja, permitem a atualização e gestão dos dados no decorrer do tempo. Nesse sentido, a análise é também dinâmica e atualizada à medida que os fatores de risco variam.

A escala de abordagem é também um fator determinante da qualidade do produto final, assim como o detalhe de precisão dos dados obtidos.

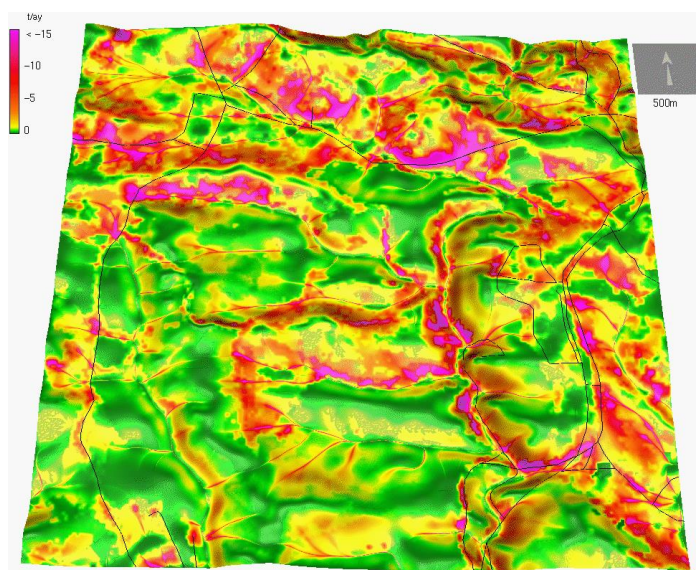


Figura 193 – Mapa SIG de erosão do solo (Mitasova e Mitas, 1997)

Por fim, a plataforma SIG permite a sua publicação em plataformas eletrónicas, de fácil consulta, o que permite ao utilizador consultar, decidir e imprimir a informação disponibilizada e manipulá-la da forma que mais lhe convir e de acordo com o resultado pretendido.

6.3. Materiais e métodos

A prevenção é sinónimo da redução do impacte das consequências de fenómenos como a erosão. Neste sentido, uma abordagem em fase inicial, ou seja, na deteção de pontos suscetíveis ao acontecimento de fenómenos erosivos, previne e assegura que os impactes sejam de ordem inferior.

Por outro lado, a prevenção aciona também planos de observação e acompanhamento no decorrer da evolução dos pontos identificados. Como tal, os planos de prevenção são de extrema importância para assegurar que chegado a um limite de impacte, devem ser desencadeadas medidas de alteração e diminuição das consequências erosivas. O plano de prevenção é apresentado e detalhado no capítulo do estudo de caso.

Neste sentido, existe uma variável muito importante, diretamente relacionada com o custo da operação de intervenção, que é a variável tempo, o que nos leva a relacionar o tempo/custo.

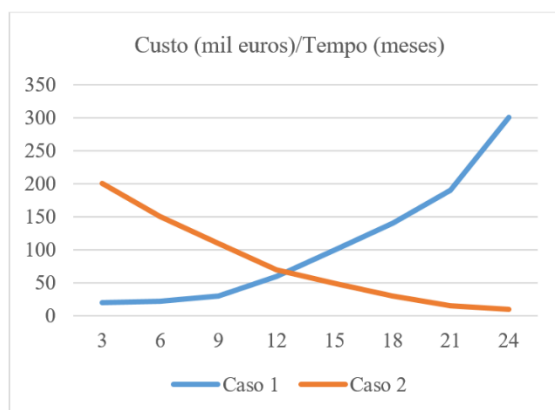


Figura 194 – Gráfico custo/tempo

Podem ser observadas no gráfico duas situações: no caso 2, existe um custo inicial «elevado» e ao longo do tempo de acompanhamento são efetuadas intervenções, de modo a reduzir os impactes da erosão. A longo prazo, os custos da operação convergem para valores residuais.

Por outro lado, o caso 1 não tem grandes custos iniciais, e ao longo do processo erosivo não são efetuadas intervenções, o que a longo prazo vai revelar-se num custo muito elevado.

O ponto de interseção do caso 1 com o caso 2 é a marca que define o limiar da intervenção de forma mais económica.

Os métodos usados para a análise e identificação dos pontos suscetíveis à erosão têm por base a equação universal (EUPS) conjugada com fatores como: linhas ou pontos de confluência de águas pluviais e infraestruturas.

Os materiais disponíveis para o estudo e elaboração das várias cartas temáticas, são resultado de um levantamento por voo aéreo não tripulado. Dele resulta um modelo digital 3D, curvas de nível de afastamento de 0,50 m e ortofotografia de alta resolução, que permite a vetorização e registo das informações necessárias para a análise dos dados.

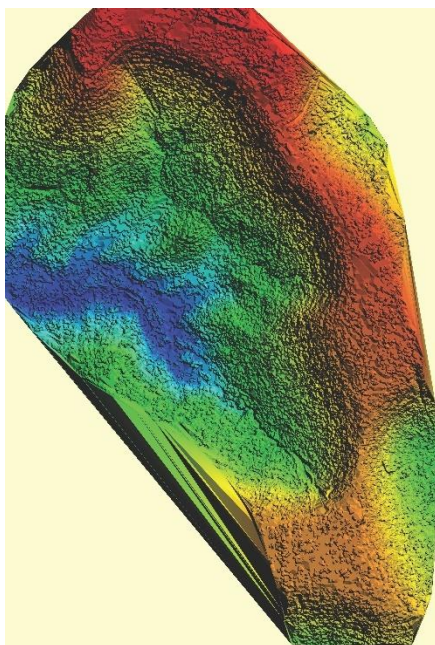


Figura 195 - Modelo digital 3D



Figura 196 – Modelo digital 3D em nuvem de pontos

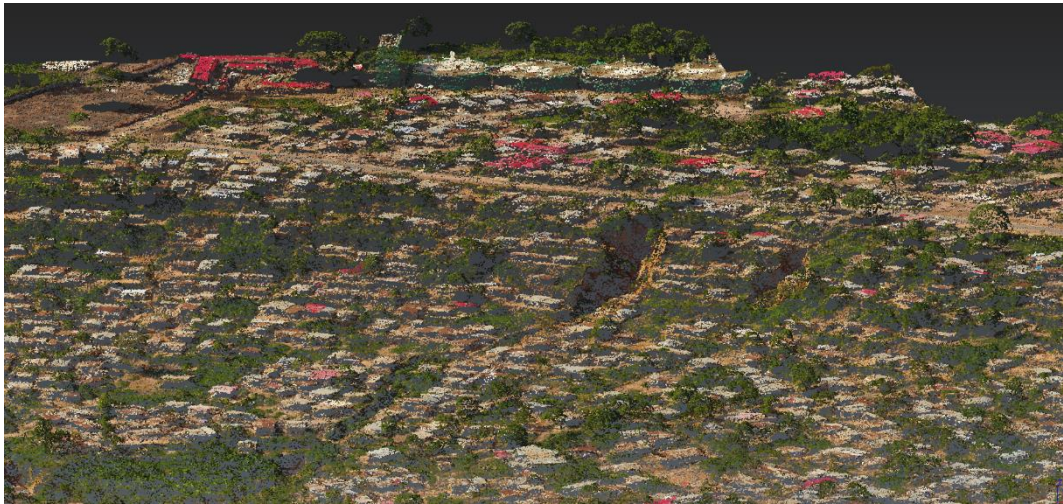


Figura 197 – Modelo digital 3D em nuvem de pontos, mais próximo

O esquema de análise de dados pode resultar num organograma complexo, em que pode ser situado de acordo com o estudo de caso: o nível de risco, possíveis patologias observadas, técnica de tratamento, peso do custo de intervenção e evolução do custo em função do tempo (caso se dê o agravamento do nível de risco).

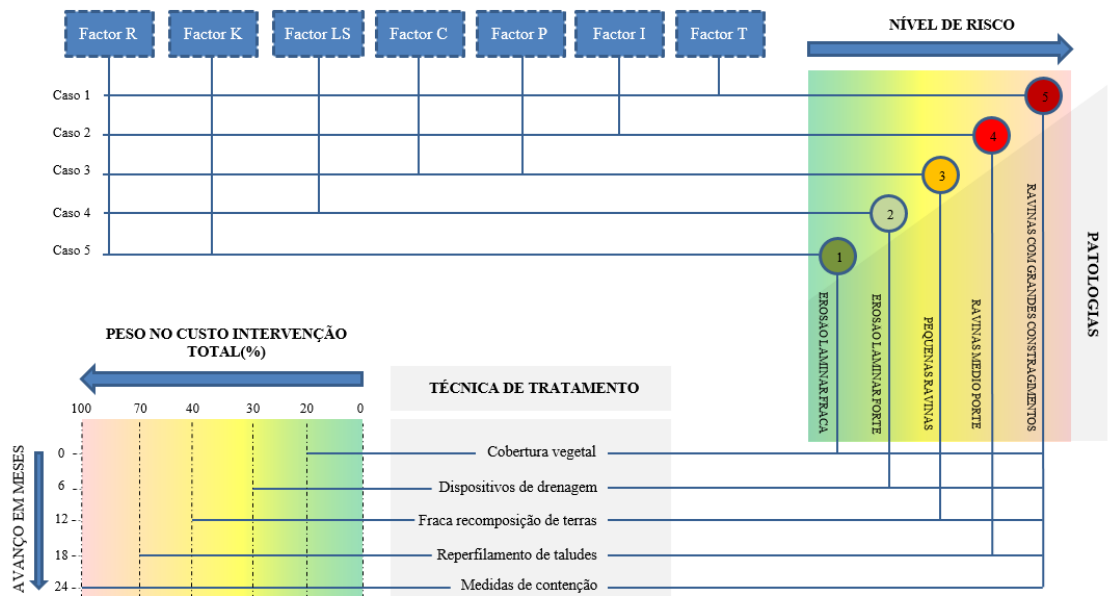


Figura 198 – Organograma de análise de risco

Por exemplo, no caso 1, que conjuga fatores como R (Erosividade), K (Erodibilidade), LS (Topográfico), C (Coberto vegetal), P (Práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão), I (Infraestruturas) e T (Pontos de confluência de águas superficiais), o tipo de erosão resulta numa classificação de nível 5, sendo esta a mais grave da escala. Consequentemente, podem manifestar-se patologias sob forma de ravinas com grandes constrangimentos, ou seja, afetação de vias rodoviárias, dos sistemas de água, dos esgotos, das drenagens, da rede elétrica, da telecomunicação e aluimentos de unidades habitacionais. No entanto, como é o fator de risco mais elevado, as medidas de tratamento englobam cobertura vegetal, dispositivos de drenagem, recomposição e reperfilamento de taludes e medidas de contenção. Do ponto de vista económico, a solução toma o valor mais elevado (100 %), uma vez que é a mais gravosa. Todavia, se a solução fosse detetada numa fase inicial, ou seja, de nível de risco 1, o seu tratamento incidiria apenas em cobertura vegetal, o que corresponderia apenas a um investimento de 20 % do custo da intervenção total (mais gravosa).

Outro tipo de informação a ser retirada do organograma é o tempo de evolução de uma área erodida de nível de risco avaliado entre 1 e 5. Isto é, no caso de uma área de nível de risco 1, caso não sejam tomadas medidas, pode em 6 meses agravar para uma área de risco 2 com a elevação do custo em 10 %. Caso o tempo de evolução chegue a 24 meses, ou seja, as medidas de tratamento do nível de risco mais grave, vão desencadear uma solução 80 % mais dispendiosa do que a inicialmente prevista.

Neste sentido, a prevenção e o investimento em cartas de análise de risco são custos que revelam uma poupança económica a longo prazo, sendo um ótimo investimento em países suscetíveis a fenómenos erosivos.

6.4. Caracterização geográfica da área de estudo

O objeto de estudo incide numa área situada na província de Cabinda – Angola, mais propriamente no Morro do Tchizo, sendo este um importante «bairro» da cidade.

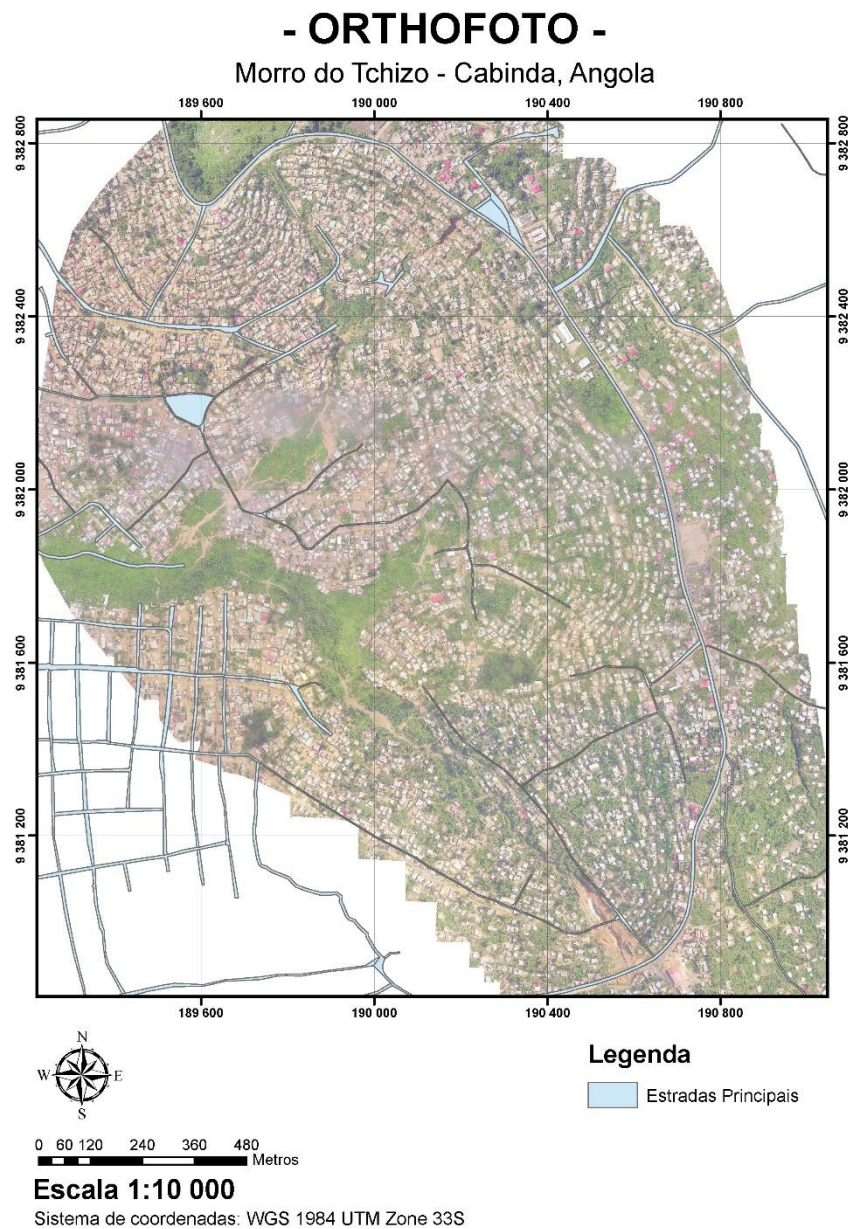


Figura 199 – Orthofoto com estradas principais

Tendo cerca de 125 hectares e a presença de vários ramos secundários do rio Lucola, este importante Morro tem características geomorfológicas bastante acentuadas, tendo como cota mais baixa 25 m e mais alta 150 m. Apresenta uma grande ocupação do solo, tanto por unidades habitacionais como por infraestruturas rodoviárias.

Em relação à cobertura superficial do solo, nos pontos onde a inclinação é mais acentuada existe uma falta de cobertura vegetal, no entanto, nos pontos mais planos e de cota mais baixa, existem pequenos aglomerados de vegetação de espécies diferenciadas.

São ainda observados vários pontos onde ocorrem fenómenos erosivos, que atualmente estão a ser intervencionados e tratados. Um dos quais é o objeto de estudo já apresentado — Ravina 3.

Os fatores de análise de risco serão descritos, detalhados e representados de forma gráfica e georreferenciada com base SIG nos próximos subcapítulos.

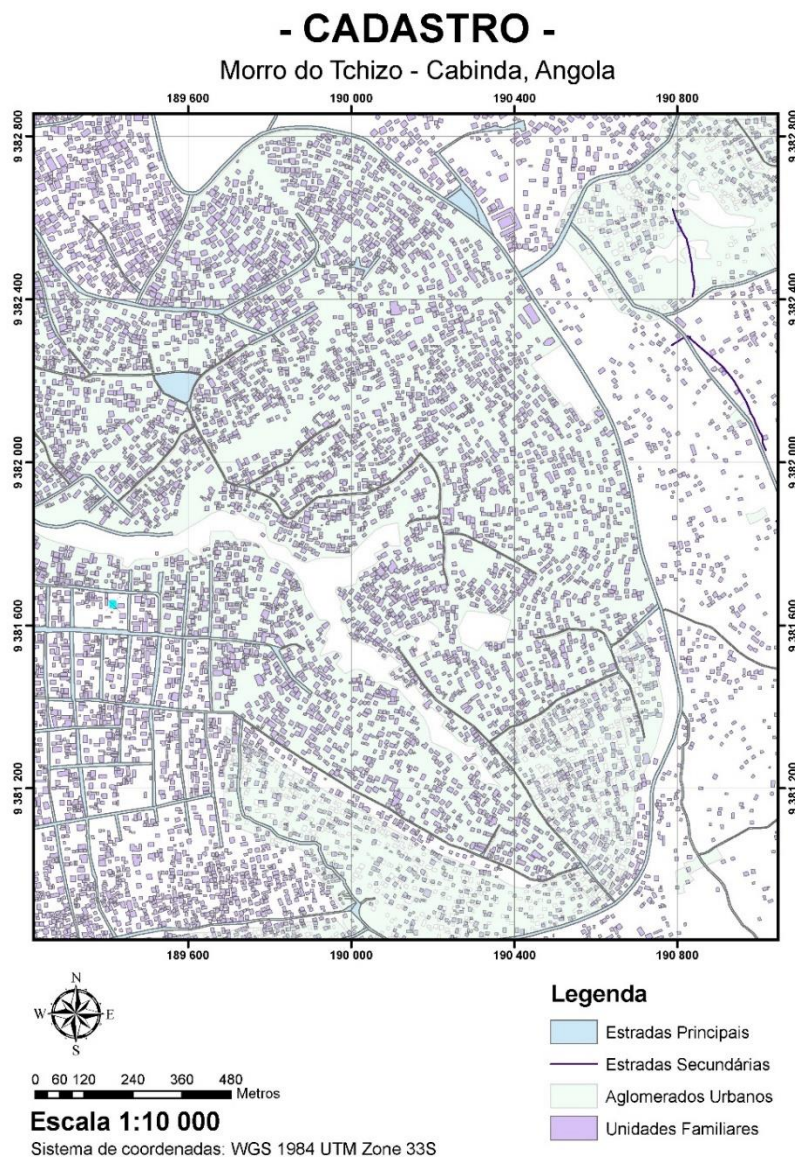


Figura 200 - Mapa de cadastro de vias e unidades habitacionais

6.4.1. Fator Erosividade (R)

O fator de erosividade (R) resulta de uma fórmula matemática já abordada de forma detalhada em capítulos anteriores. Em suma, considera o potencial erosivo da chuva no solo e relaciona as perdas do solo de acordo com a precipitação. Nesse sentido, pode ser observada a variação deste fator segundo a sua geomorfologia.

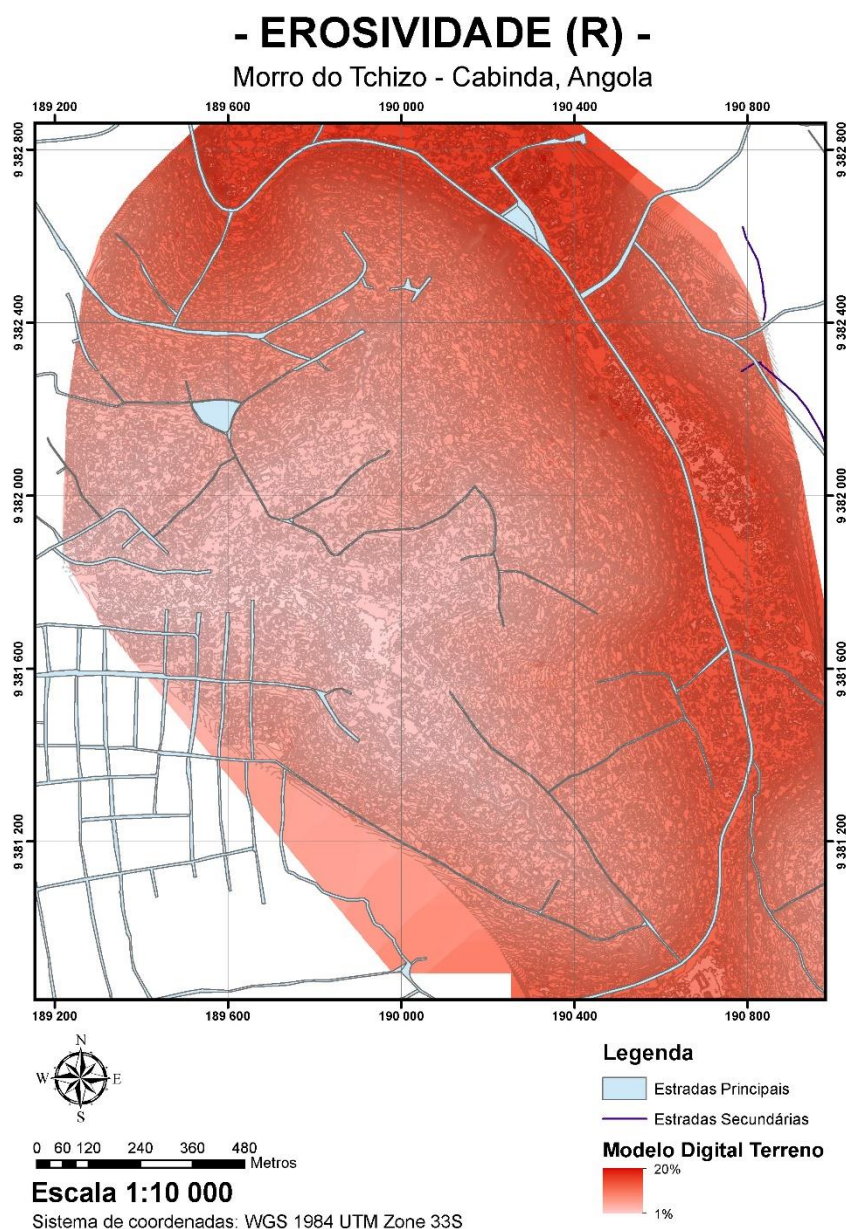


Figura 201 – Mapa do fator erosividade (R)

6.4.2. Fator Erodibilidade (K)

O fator de erodibilidade (K) resulta de forma experimental e reflete a suscetibilidade de um solo à erosão.

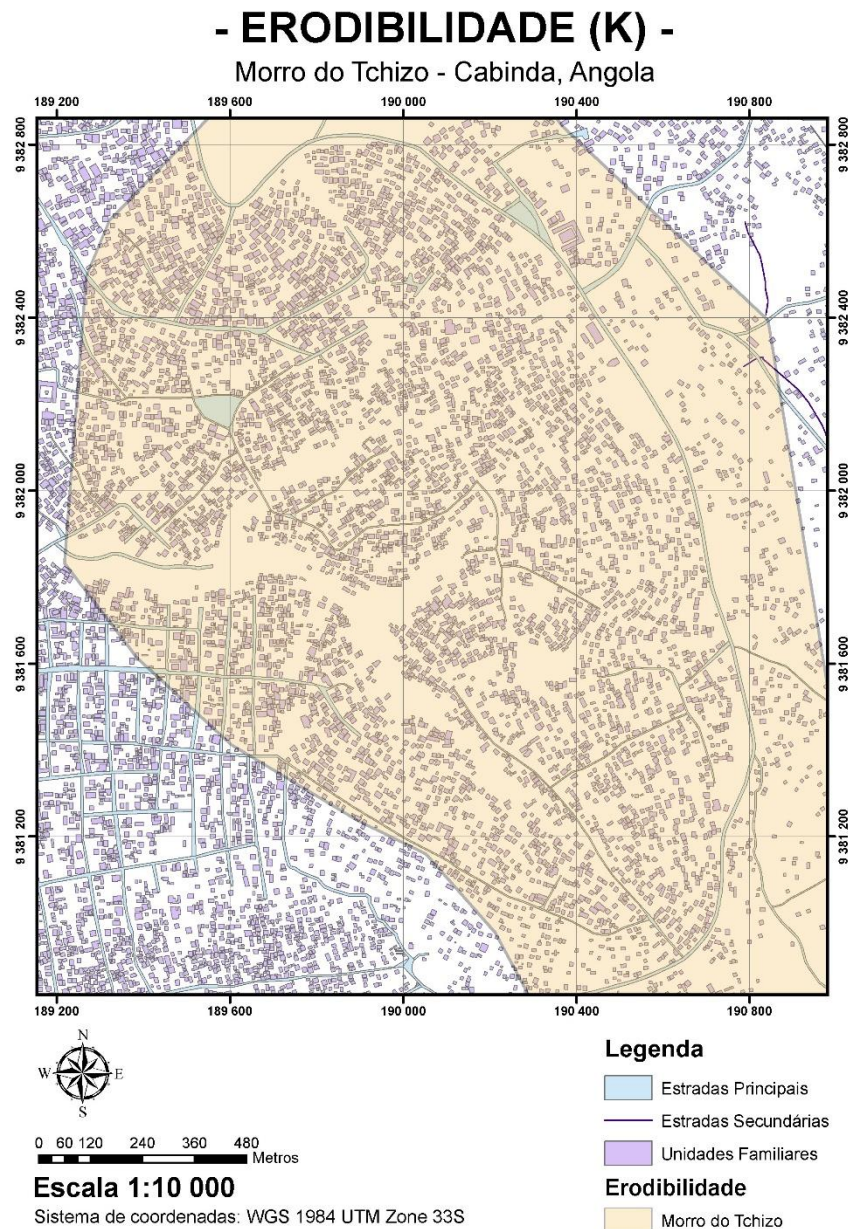


Figura 202 – Mapa do fator erodibilidade (K)

6.4.3. Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) resulta na conjugação das variáveis comprimento da encosta (L) e declive (S), que de forma matemática dá origem à proporção esperada de perda de solo por unidade de área. Este fator, à semelhança dos anteriores, já foi abordado detalhadamente em capítulos anteriores. Nesse sentido, pode ser observada a categorização do Morro de acordo com a sua geomorfologia.

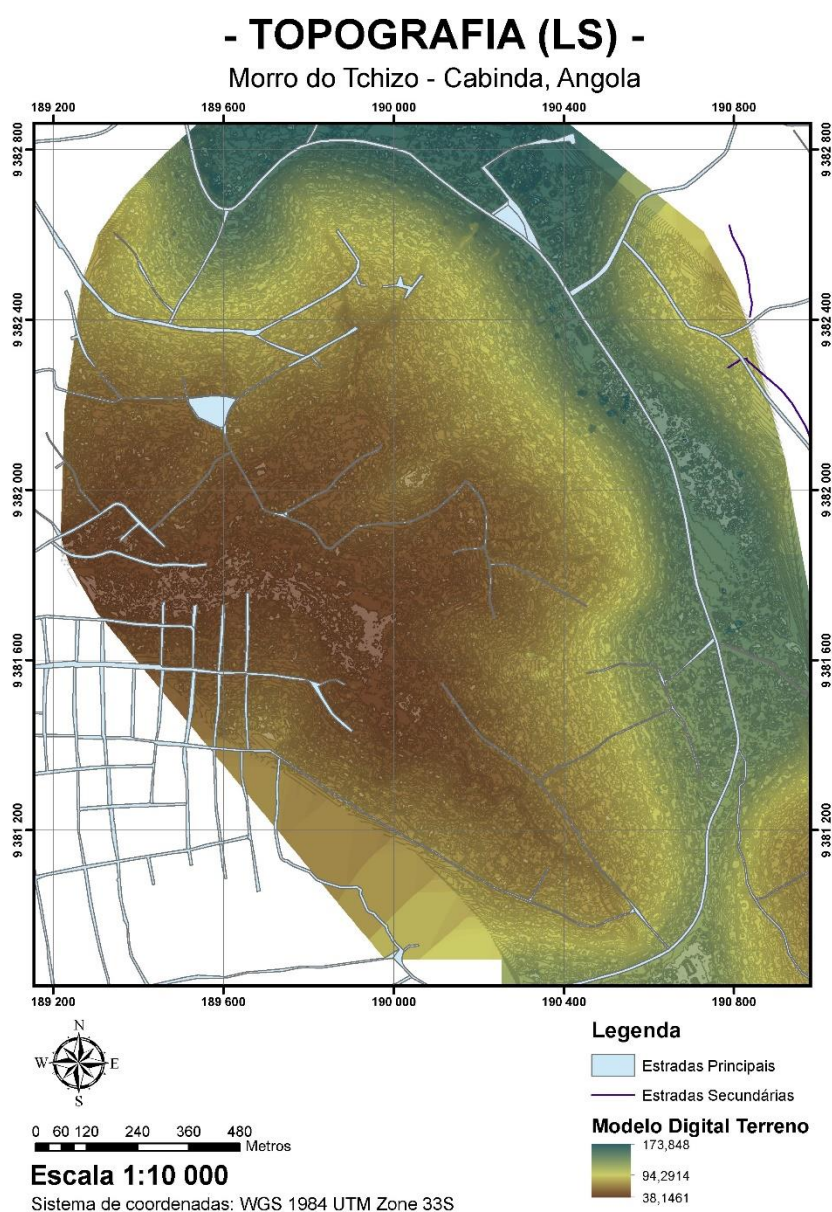


Figura 203 – Mapa do fator topográfico (LS)

6.4.4. Fator Coberto vegetal (C)

O fator coberto vegetal (C) traduz o efeito da ocupação na taxa de perda do solo, atendendo ao facto de ter ou não uma cobertura vegetal. Nesse sentido, podem ser observadas várias manchas de cobertura vegetal, segundo a sua ocupação.

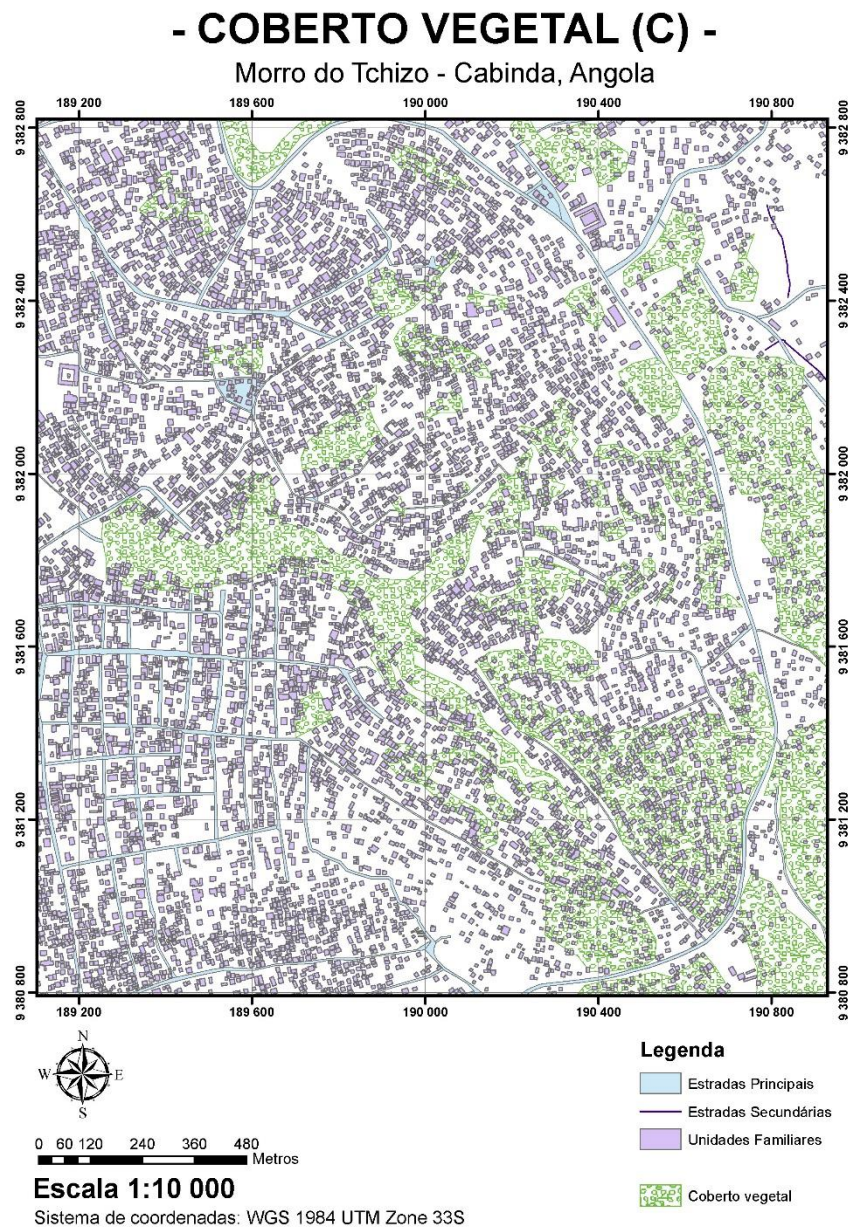


Figura 204 – Mapa do fator coberto vegetal (C)

6.4.5. Fator de Práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão (P)

À semelhança do fator anterior, as práticas agrícolas e as medidas de controlo da erosão (P) estão diretamente relacionadas com o tipo de cultura realizada ao longo das curvas de nível, em faixas, terraços ou socalcos. Nesse sentido, são observadas poucas manchas deste tipo de cultura, o que revela nulidade na prevenção da erosão.

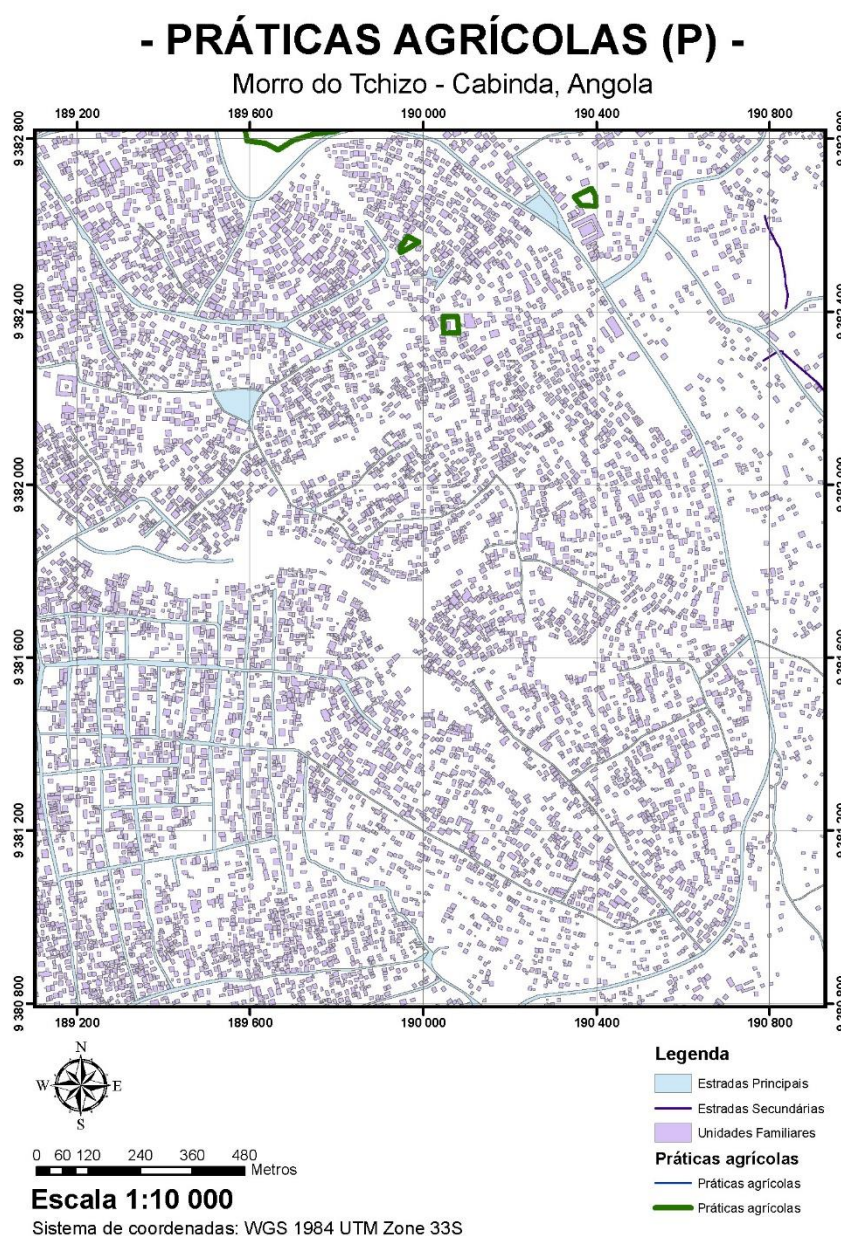


Figura 205 – Mapa do fator de práticas agrícolas e medidas de controlo da erosão (P)

6.4.6. Fator Infraestruturas (I)

O fator das infraestruturas (I) resulta do registo e caracterização de todas as infraestruturas existentes no local, para posterior análise e debate.

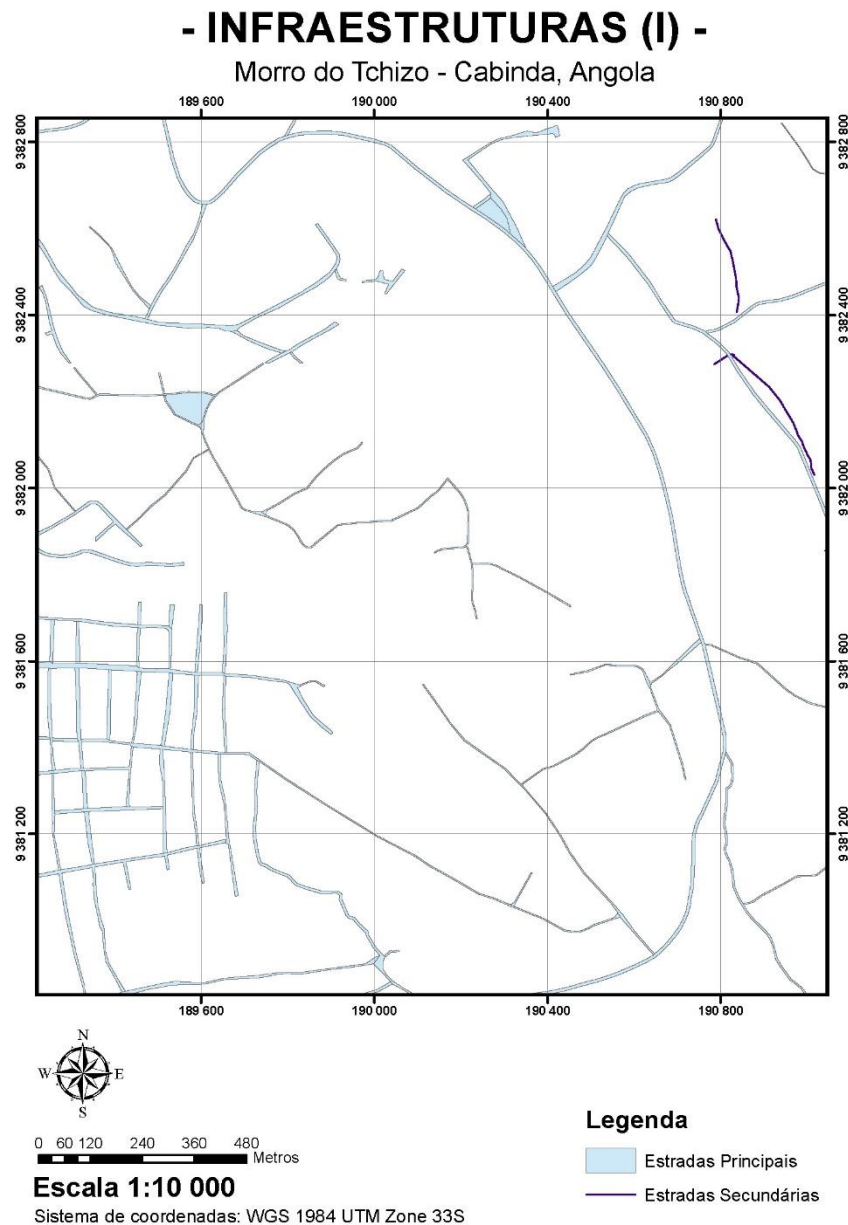


Figura 206 – Mapa do fator infraestruturas (I)

6.4.7. Fator Pontos confluência de águas superficiais (T)

O fator pontos de confluência de águas superficiais (T) resulta de um estudo hidrográfico da bacia, que define os pontos de confluência de águas pluviais. Deste modo, é possível registar e caracterizar os pontos críticos para posterior análise.

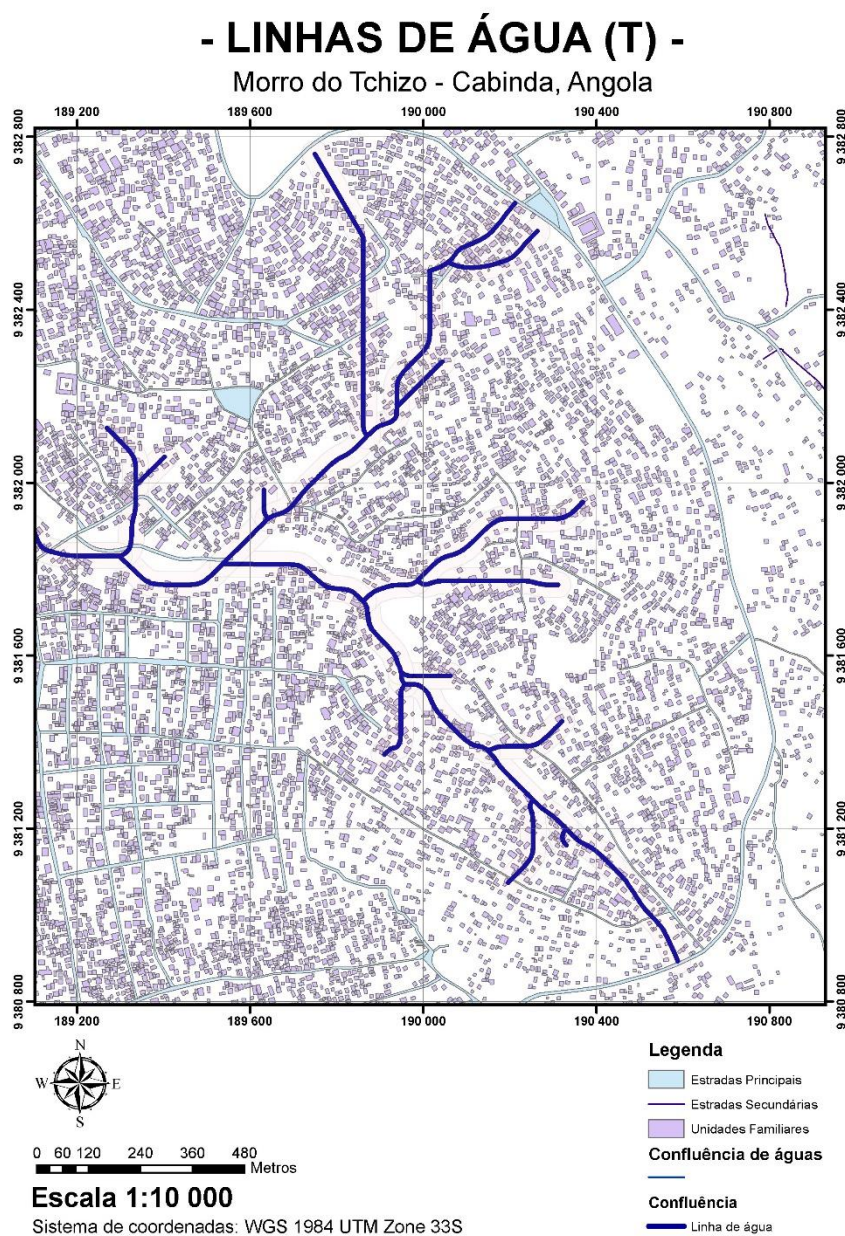


Figura 207 – Mapa do fator pontos confluência de águas superficiais (T)

6.5. Resultados e discussão

Tendo em conta os fatores apresentados e após realizar a análise de dados definidos como premissas, resulta um mapa de suscetibilidade à erosão. É visível que o ponto da ravina 3 — abordado no estudo de caso —, é identificado como área de risco tipo 5. Neste sentido, são observados ainda nos níveis de risco 3 e 4, pequenos pontos de erosão laminar, que podem ser examinados em visita de campo.

O mapa apresentado representa os níveis de suscetibilidade à erosão na escala de 1 a 5, sendo 1 a menos grave e 5 a mais grave.

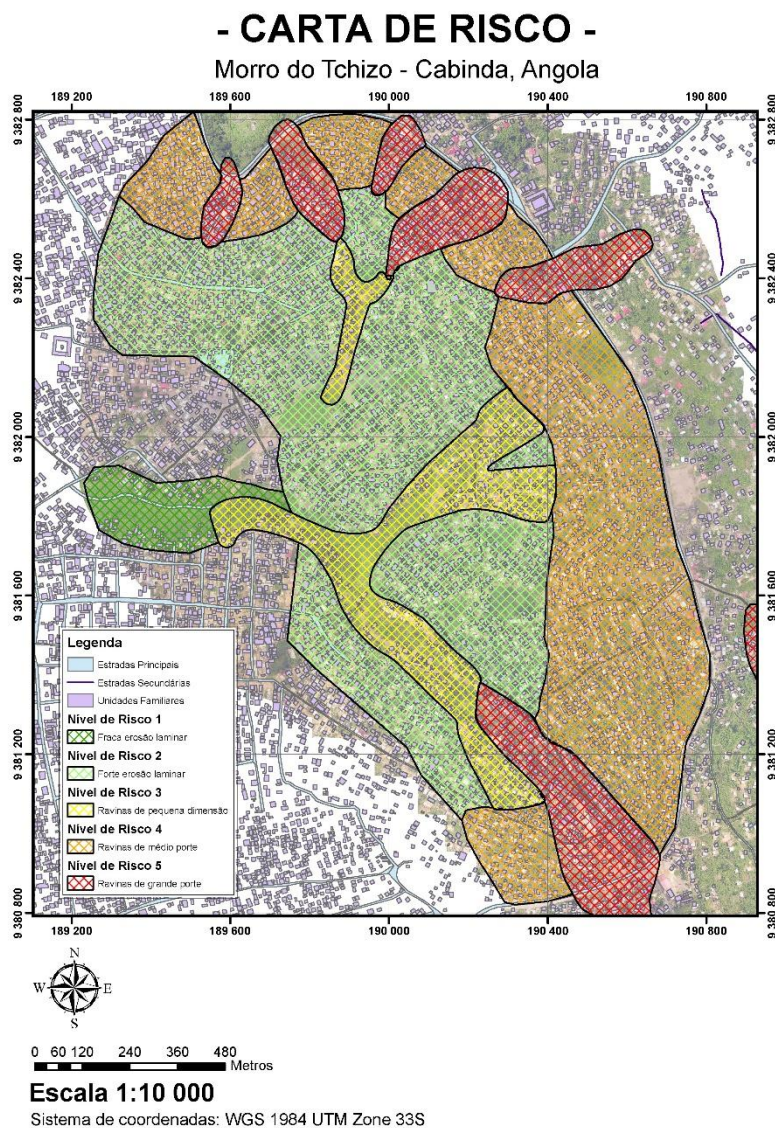


Figura 208 – Mapa de suscetibilidade à erosão

7. Conclusões e recomendações

A erosão dos solos é uma consequência natural que surge ou é resultado de reajustes geomorfológicos do solo às novas condições hidráulicas. De um modo geral, as alterações surgem de impactes causados pelo Homem. São exemplos a construção de novas vias rodoviárias. Em África, a erosão tem um impacte muito significativo, uma vez que estão reunidas todas as condições favoráveis à ocorrência deste fenómeno, tais como: solo facilmente erodível e grande intensidade de precipitação.

Deste modo, as consequências resultantes são devastadoras e de grande impacte na vida dos habitantes locais, causando dificuldades na mobilidade ou, em caso extremo, desmoronamento das suas unidades familiares.

Foi objetivo deste trabalho criar um manual que permita identificar o tipo de erosão, caracterizar as causas, apresentar possíveis soluções de tratamento quer para situações de emergência quer definitivas e, por fim, antecipar ou prevenir a repetição destes fenómenos.

Tendo por base documentação internacional, autores conceituados e alguma experiência profissional pessoal, foi possível elaborar este documento.

O caso de estudo abordado e pormenorizado neste documento é um bom ponto de partida para testar a metodologia a ser usada em fenómenos como a erosão. Deste modo, são apresentadas as informações e as premissas que foram consideradas nas fases de anteprojecto e de projecto de execução, realizado na empresa BDM, Engenharia e Tecnologia. Para complemento de informação, foram realizados estudos e ensaios laboratoriais, os quais foram descritos e apresentadas as conclusões, validando a solução proposta.

Tendo como origem um ponto de drenagem, a ravina 3 inicia o seu processo de erosão a jusante da passagem hidráulica, que conjugado com um forte declive e velocidade de saída de água não controlada, origina o processo erosivo. Em 24 meses, dá-se uma evolução rápida, desencadeando dificuldades ao nível da mobilidade (interrupção da via rodoviária) e desmoronamentos localizados de habitações.

Após identificação das causas e das suas características, segue-se o processo de tratamento, que neste caso, inclui trabalhos de movimentação de terras com reperfilamento de talude, dispositivos de drenagem para recolha e recondução das águas até ao canal de macro-

drenagem do rio Luvassa. A proteção de cobertura vegetal é de extrema importância no tratamento deste tipo de fenómenos, constituindo um meio de proteção da superfície do talude, minimizando o impacto das gotas da chuva e prevenindo a erosão do solo.

O estudo geotécnico e ensaios permitiram identificar o tipo de solo existente, as suas características granulométricas, os limites de consistência e o comportamento quando sujeito a ações de natureza hidráulica.

Dos resultados obtidos, pode concluir-se que o solo tem uma granulometria pouco extensa que pode corresponder a elevados valores de índice de vazios e a alto risco de erosão. Nesse sentido, deve ser considerado este fator em casos futuros de obras de infraestruturas, para reduzir a probabilidade de erosão e os impactes sociais.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- uma abordagem económica, dos vários métodos de tratamento;
- estudo experimental, dos vários tipos de proteção superficial do talude, para o tipo de solo e condições em causa.

Conclui-se com um apelo para que se faça um investimento na prevenção, através da informação e sensibilização das populações e da elaboração de cartas de risco, sendo este o melhor método para abordar esta temática.

8. Bibliografia

- ABNT. (2008). *Estabilidade de encostas*. Associação Brasileira de normas técnicas.
- ACA-Congo. (2016). *Contenção provisória - ravinas de Pylone, boukeni, Don Bosco e Itsaly*. RD Congo: Comunicação 30 anos E.C. IPT, Eng. Gil Galacho.
- Alonso, U. R. (2014). *Exercícios de Fundações*. São Paulo, Brasil: Blucher.
- Ambiental, E. d. (2017). *Erosão em Borda de Reservatório*. Goiania: Escola de Engenharia Civil e Ambiental.
- AngloNoticias. (2011). *Notícia de jornal*. Angola.
- Angola, G. d. (1989). *Urbanização e desurbanização em Angola*. Luanda.
- ASTM-D-2478. (s.d.). *Classificação dos solos para fins rodoviários*. ASTM.
- ASTM-D-3080-90. (1990). *Corte directo*. ASTM.
- Azevedo, I. C. (2015). *Análise de tensões e deformações em solos*. Viçosa, Brasil: UFV editora.
- Bahr. (2016). *Angola - Erosion hazard map*. África Development Co-ordination Conference - SADCC.
- Bastos, C. A. (1999). *Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Porto Alegre: Tese de Pós graduação.
- BDM. (2015-2018). *Projecto de execução - Ravina 3 - Cabinda*. Cabinda: BDM.
- BDM. (2017). *Levantamento topográfico à escala 1:1000*. Cabinda: BDM.
- Canholi, A. P. (2016). *Drenagem Urbana e Controle de enchentes*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- Carvalho, P. A. (1991). *Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas*. Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo.
- CIA. (1977). Political map of the Cabinda province, Angola.

- Costa, J. B. (1950). *Estudos, ensaios e documentos II*. Lisboa: Ministério das Colónias - Junta de investigações coloniais.
- Costa, J. B., & Azevedo, Á. L. (1947). *Aspectos da erosão do solo em Angola*.
- Costa, J. B., & Azevedo, Á. L. (1957). *Classificação dos solos de Angola*.
- Cype. (2017). *Pormenores construtivos*. Cype software para engenharia e construção.
- DGAH. (1981). *Aproveitamentos Hidraulicos - Indice hidrográfico e classificação decimal dos cursos de água de Portugal*. Direcção geral dos recursos e aproveitamentos hidráulicos.
- Diniz, A. C. (1973). *Características Mesológicas de Angola*. Lisboa: Instituto Portugues de apoio ao desenvolvimento.
- Duarte, J. M. (1950). *A Acção das Derrubas Florestais e das Queimadas na Degradação do Solo Angolano*.
- Dunne, T. e. (1978). *Water in environmental planning*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- E-195. (1966). *Preparação de amostras para ensaios de identificação*. Lisboa: LNEC.
- E-196. (1966). *Análise granulométrica*. Lisboa: LNEC.
- Faculdade, E. (2017). *Estruturas de contenção muros de arrimo*. Departamento de estruturas e fundações.
- Fernandes, J. P., & Freitas, A. R. (2011). *Introdução à engenharia natural*. Evora: EPAL - Empresa Portuguesa de águas livres, SA.
- Fernandes, M. M. (1994). *Mecânica dos Solos – Conceitos e princípios fundamentais*. Porto: FEUP.
- Fiori, A. P. (2015). *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- Fiori, A. P. (2016). *Estabilidade de taludes, exercícios práticos*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.

- Foiri, & Carmignani. (2009). *Fundamentos de macânica dos solos e das rochas: aplicações a estabilidade de taludes*. São Paulo: Oficina dos livros.
- Folque, J. (1991). *Um esboço da história da Mecânica dos Solos*. Revista da Sociedade.
- Fonte, M. M. (2013). *Urbanismo e arquitectura em Angola*. Caleidoscópio.
- Freitas, A. R. (2011). *Introdução à engenharia natural*. Évora: EPAL - Empresa Portuguesa de águas livres, SA.
- Frutai, Almeida, & Lacerda. (2005). *Evolução de uma voçoroca por escorregamentos retrogressivos em solo não saturado*. Salvador: Conf. Brasileira de estabilidade de encostas.
- Georio. (1999). *Manual de técnico de encostas*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto de Geotécnia.
- Gerscovich, D. M. (2013). *Estabilidade de taludes*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- GID-Engenharia. (2016). *Relatório de sondagem*. Cabinda: GID.
- Henriques, C. S., & Kouli. (2009). *Dinâmica de vertentes no contexto da reserva ecológica nacional: O caso de estudo do concelho de Caldas da Rainha. Tese (Mestrado)*. Universidade de Lisboa Faculdade de Letras.
- IGCA, I. G. (2007). *Rede hidrográfica do município de Cabinda*. Cabinda: IGCA.
- INEG. (1988). *Carta Geológica de Angola escala 1/1 000 000*. Angola: INEG.
- Ingenium. (2011). *Entrevista Augusto Manuel Sardinha*.
- Instituto, N. p. (1988). *Aplicación del modelo USLE en parcelas de erosión*. Espanha.
- Jorge, A. J. (2014). *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- José Carlos A. Cintra, N. A. (2014). *Fundações, ensaios estáticos e dinâmicos*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- Junior, R. F. (2008). *Tese para título de Doutor - Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do Rio Uberaba*. São Paulo, Brasil.

- Koppen-Geiger. (1900). *Classificação climática de Koppen-Geiger*.
- Lencastre, & Franco. (1984). *Lições de Hidrologia*. Lisboa: Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- LNEC. (2017). *Aplicação de geossintéticos no controlo da erosão superficial e costeira*. Lisboa: LNEC.
- LNEC, L. n. (2009). *Drenagem de águas superficiais em vias de comunicação*. Lisboa: LNEC.
- M. Kouli, P. S. (2009). *Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece*. Environmental Geology.
- Mariano, D. P. (2015). *Efeito do coberto vegetal no reforço e na proteção de taludes*. Lisboa: Faculdade de ciências e tecnologia universidade nova de Lisboa.
- Marques, M. M. (1977). *Esboço das grandes unidades geomorfológicas de Angola*. Angola.
- Martinho, P. R. (2005). *Contribuição para o estudo de técnicas de engenharia biofísica: Grade de Vegetação e Grade de Vegetação Vesúvio*. Trabalho de Fim de Curso.
- Massad, F. (2016). *Mecânica dos solos experimental*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- Maurício Ehrlich, L. B. (2011). *Muros e taludes de solo reforçado, projecto e execução*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- Milititky, J. (2016). *Grandes escavações em perímetro urbano*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos.
- Natureza, I. p. (1988). *Análisis comparativo de la evaluación de la erosividad de la lluvia en la cuenca del Guadalentín*.
- Neves, A. F. (2016). *Estudos Interdisciplinares em Ciências Biológicas, Saúde, Engenharias e Gestão*. São Paulo: Blucher.
- Nieble, G. G. (2014). *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo, Brasil: Blucher.
- Norman. (1995). *Efeito do Ângulo de talude na ocorrência de movimentos de massa*.

- NP-143. (1969). *Determinação dos limites de consistência*. Lisboa: LNEC.
- NP-83. (1965). *Determinação da densidade das partículas*. Lisboa: LNEC.
- NP-84. (1965). *Determinação do teor em água*. Lisboa: LNEC.
- Paixão, M. d. (1999). *Águas e esgotos em urbanizações e instalações perdiais*. Alfragide: Edições Orion.
- Paulo Barreto Cachim, M. M. (2016). *Estruturas de Betão, bases de Cálculo, segundo Eurocódigo 2*. Porto: Publidústria, edições técnicas.
- Paulo, D. d. (2016). *Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação*. São Paulo: Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo.
- Pedologia, C. E. (1985). *Carta geral dos Solos de Angola*.
- ProEnge, F. (2017). *Relatório técnico erosão do solo*. Cabinda: ProEnge.
- REBAP. (Dec-Lei 348-C/83 de 30 de Julho). *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado*. Porto Editora.
- Rodgers, M. (15 de Março de 2018). *documentos*. Obtido de www.eird.org: <http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/eng/doc5764/doc5764-contenido.pdf>
- Rodrigues, J. A. (2007). *Regulamento Geral dos sistemas públicos e perdiais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais*. Lisboa: Editora Rei dos Livros.
- Salbany, A. (1957). *As Estradas e Caminhos-de-ferro e os Problemas de Erosão*.
- Santos, G. A. (2014). *Soluções de Pregagens para a Estabilização de Taludes: uma Contribuição para o seu Dimensionamento*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Santos, L. M. (2015). *Erosão em taludes de corte - métodos de proteção e estabilização*. São Paulo, Brasil: Universidade estadual paulista "Júlio de mesquita filho".
- Sardinha, A. M. (1957). *As estradas em Angola e a sua influencia nos fenómenos da erosão*. Lisboa: 1º jornada de Estradas.

- Silva, R. A. (2012). *Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes*. Madeira: Universidade da Madeira.
- Simões, H. D. (2013). *Modelação espacial da erosão hídrica do Solo, aplicação da equação universal de perda de solo (EUPS)*. Castelo Branco: Instituto politécnico de Castelo Branco.
- Sousa, P. M. (2011). *Limite de liquidez - Correlações e comparações entre os métodos de fall cone e da concha de Casagrande*. Lisboa: Faculdade de ciências e tecnologia.
- Sousa, R. (2017). *Técnicas de engenharia natural como ferramenta de Rad*. Santa Maria: Laboratório de Engenharia Natural - UFSM.
- Strahler, A. (1952). *Dynamic Basis of Geomorphology*. Geological Society of America Bulletin.
- Técnico, I. S. (s.d.). *Apontamento de mecanica dos solos e das rochas*. Lisboa: Mestrado em Engenharia Civil.
- Thorntwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). *The water balance*. New Jersey: Publications in Climatology.
- Troeh, F. R. (1965). *Landform equations fittes to contorur maps*. American Journal of Sciences.
- Tucci, C. E. (1993). *Hidrologia, Ciência e aplicação*. Rio grande do Sul, Brasil: Universidade federal do Rio Grande do Sul.
- Ultramar, M. d. (1965). *Carta geral dos solos de Angola, província de Cabinda*. Cabinda.
- Varnes, J. D. (1978). *Landslides types and processs*. Nacional Academy of Sciences.
- Ven, & Chow. (1964). *Coeficiente de escoamento para áreas agrícolas*.
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1965). 965. *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of The Rocky Mountains: A guide for selection of practices for soil and water conservation*. In: *Agriculture Handbook n.o 282*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture.

- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. In: *Agriculture Handbook n.o 537*. Washington, D.C: U.S. Department of Agriculture.
- Ziemer, R. R. (1981). *The role of vegetation in the stability of forested slopes*. Obtido de <http://svinet2.fs.fed.us/psw/publications/ziemer/ZiemerIUFRO1981.PDF>
- Zingg, A. (1940). *Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff*. *Agricultural Engineering*,.

9. Referências bibliográficas eletrônicas:

13º Congresso da água. (2016). Curvas IDF para a província de Cabinda. Acedido em: 2, Maio, 2018, em: https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo_Proenca_de_Oliveira/publication/305494966_Curvas_IDF_para_a_Provincia_de_Cabinda/links/580a614108aeef1bfee3f6bb/Curvas-IDF-para-a-Provincia-de-Cabinda.pdf

Ambiental, Gestão (2016). Acedido em: 2, Março, 2018, em: <http://gestaoambientalbr470.com.br/2016/12/conheca-como-esta-sendo-realizada-a-recuperacao-de-areas-degradadas-com-dispositivos-de-protecao-na-obra-de-duplicacao-da-br-470/>.

Ancorporgrup. (2016). Pregagens. Acedido em: 18, Maio, 2018, em: http://www.ancorporgroup.com/work/hospital-em-torres-vedras_9

Cimento montes claros. (2018). Muro de sacos de solo-cimento. Acedido em: 28, Junho, 2018, em: <https://cimentomontesclaros.com.br/solo-cimento/>

Colegioweb. (2000). Como ocorrem as erosões. Acedido em: 4, Março, 2018, em: <https://www.colegioweb.com.br/>

Creative, boom. (2018). Diferença social. Acedido em: 7, Abril, 2018, em: <https://www.creativeboom.com/>

DJI. (2018). Drone Phonton 4 pro. Acedido em: 11, Agosto, 2018, em: <https://www.dji.com/>

EcoSalix. (2007). Soluções engenharia natural. Acedido em: 4, Fevereiro, 2018, em: <http://ecosalix.pt/>

Engenharia verde, Prof. Lilian e Marquardt (2007). Engenharia verde. Acedido em: 2, Junho, 2018, em: <https://pt.slideshare.net/luizantoniooliveirarocha/engenharia-verde>

Escola superior de agronomia, (2008). Banquetas com valetas. Acedido em: 3, Abril, 2018, em: <http://www.isa.ulisboa.pt/ceabn/projecto/1/78/projecto-de-estabiliza-ccedil-atilde-o-de-um-talude-na-a21-n-oacute-da-malveira-com-t-eacute-cnicas-de-engenharia-natural>

ESO. (2017). Paredes diafragma moldadas in loco. Acedido em: 8, Fevereiro, 2018, em: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=558>

Geobrasil. (2018). Muros de gabião. Acedido em: 3, Julho, 2018, em: http://www.geobrasil.com.br/produtos/gabioes_saco.html

Geoplás. (2000). Geoplás 150 PP STD. Acedido em: 30, Junho, 2018, em: <http://vimaplas.pt/assets/upl/files/geoplas-150-pp-std-1014-copy-171006175036.pdf>

Geo-Rumo. (2018). Tecnologia de fundações. Acedido em: 11, Maio, 2018, em: <http://www.georumo.pt/geot/berlim.html>

INAMET. (2000). Medição de precipitação média de 1961 a 1990. Acedido em: 29, Janeiro, 2018, em: <http://www.inamet.gov.ao/ao/previsao/?p=4>

Indubel (2018). Muros de berlim. Acedido em: 11, Agosto, 2018, em: <http://www.indubel.pt/>

Leica, Portugal (2018). Equipamentos topográficos. Acedido em: 4, Março, 2018, em: <https://leica.pt/>

LIFE/GTF. (2005). Risco agora é a erosão dos solos e a contaminação da água. Acedido em: 12, Junho, 2018, em: <https://www.dn.pt/sociedade/interior/risco-agora-e-a-erosao-dos-solos-e-a-contaminacao-da-agua-8864843.html>

MA fundações, Lda. (2014). Execução de estacas. Acedido em: 5, Março, 2018, em: <https://mafundacoes.com.br/>

Marangon, M. (2009). Unidade 5 – Resistência ao Cisalhamento dos Solos. Acedido em: 25, Maio, 2015, em: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2_unid05-P1.pdf

Mitasova e Mitas. (1997) Mapas de risco. Acedido em: 14, Agosto, 2018, <http://fatra.cnr.ncsu.edu/~hmitaso/>

NTC. (2008). Muros de gabião. Acedido em: 5, Maio, 2018, em: <https://www.ntcbrasil.com.br/blog/muros-de-arrimo/>

Palhão, Blog (2013). Queimadas Angola. Acedido em: 4, Março, 2018, em: <https://lucaspalhao.wordpress.com/>

Rios+. (2016). Detalhes construtivos de engenharia natural. Acedido em: 9, Maio, 2018, em: <http://riosmais.herokuapp.com/>

RPC contracts. (2018). Muro «Crib walls». Acedido em: 1, Junho, 2018, em: <https://www.externalworksindex.co.uk/entry/38834/Ruthin-Precast-Concrete/Kriblok-gravity-retaining-wall/>

RTP.pt (1993). Miradouro da Lua. Acedido em: 4, Março, 2018, em: <https://www.rtp.pt/programa/tv/p34421>

Sementes Caiçara. (2016). Mistura de mulch. Acedido em: 23, Maio, 2018, em: <http://www.sementescaicara.com/base.asp>

Service, Nacional Weather (2017). Tombamento proveniente da acção do vento. Acedido em: 11, Agosto, 2018, em: <https://www.weather.gov/>

SOPE engenharia. (2017). Muro de betão armado. Acedido em: 5, Abril, 2018, em: <http://www.sopeengenharia.com.br/obras.php?pagina=14&servico=todos>

Verdetec Brasil. (2016). Método de hidrossementeira. Acedido em: 20, Junho, 2018, em: <http://www.verdetec.com/web/site/index.php>

A. Anexos

A.1. Boletins de ensaio

A.1.1. NP 84 – Teor em água (estado natural) – Ravina 3

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 01

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana	Turma:
Ano lectivo:	
Grupo:	
Descrição da amostra: R3 - Cabinda - Angola	
Data da realização do ensaio: 18/05/2018	

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-84

CÁPSULA Nº		14	16	19
M1	Peso do queimador a alcool mais tabuleiro (g)	69,73	69,53	69,52
M2	Peso do queimador a alcool mais tabuleiro + Provete húmido (g)	102,86	105,57	126,84
M3	Peso da cápsula + Provete seco (g)	99,85	102,32	121,65
M2-M3	Peso da água (g)	3,01	3,25	5,19
M3-M1	Peso do provete seco (g)	30,12	32,79	52,13
$\{(M2-M3)/[(M3-M1)*100]$ Teor em água (%)		10,0	9,9	10,0
Média dos Teores em Água (%)		10,0		

Observações:

Modelo LEC/3.3.1/NP84/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 02

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A ESPECIFICAÇÃO DO LNEC E196

2 - PENEIRACÃO FINA (grãos passados no peneiro N° 10 e retidos no N° 200)

3 - SEDIMENTAÇÃO

Observações:

(continuação)

LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS, GEOTECNIA E ESTRUTURAS
 SERVIÇO DE APOIO PEDAGÓGICO

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 02 de 02

Disciplina: Nuno Silva

Ano lectivo:

Grupo:

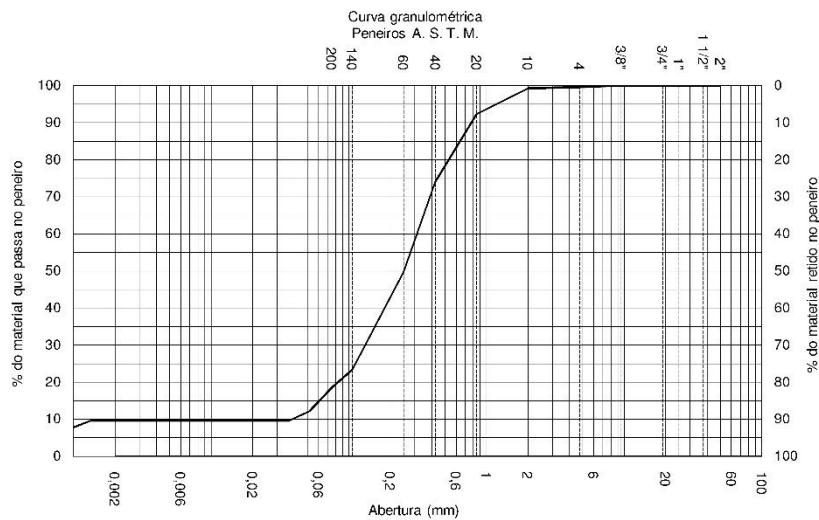
Turma:

Descrição da amostra: Ravina 3

Data de realização do ensaio: 18-05-18

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A ESPECIFICAÇÃO DO LNEC E196

4 - CURVA GRANULOMÉTRICA



Observações:

Modelo LEC/3.3.1/E196/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

A.1.3. NP 84 – Teor em água (Análise granulométrica) – Ravina 3

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 01

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana	Turma:
Ano lectivo:	
Grupo:	
Descrição da amostra: R3 - Cabinda - Angola	
Data da realização do ensaio: 18/05/2018	

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-84

CÁPSULA Nº		14	16	19
M1	Peso do queimador a álcool mais tabuleiro (g)	69,73	69,53	69,52
M2	Peso do queimador a álcool mais tabuleiro + Provete húmido (g)	103,59	99,06	95,15
M3	Peso da cápsula + Provete seco (g)	103,49	98,99	95,08
M2-M3	Peso da água (g)	0,10	0,07	0,07
M3-M1	Peso do provete seco (g)	33,76	29,46	25,56
$\{(M2-M3)/(M3-M1)*100\}$ Teor em água (%)		0,3	0,2	0,3
Média dos Teores em Água (%)		0,3		

Observações:

A.1.4. NP83 – Densidade das Partículas – Ravina 3

LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS, GEOTECNIA E ESTRUTURAS
 SERVIÇO DE APOIO PEDAGÓGICO

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina: Nuno Silva	Turma:
Ano lectivo:	
Grupo:	
Descrição da amostra: Ravina3	
Data de realização do ensaio:	18-05-18

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-83

		Pic. Nº 23	Pic. Nº 91	Pic. Nº 100
M ₁	Massa do Picnómetro (g)	47,31	47,08	46,29
t ₁	Temperatura da água (°C)	21,0	21,0	21,0
Dt ₁	Densidade da água à temperatura t ₁	0,99802	0,99802	0,99802
tx	Temperatura do Provete + água (°C)	23,0	23,0	23,0
Dtx	Densidade da água à temperatura tx	0,99757	0,99757	0,99757
M ₂	Massa do Pic. cheio de água à temperatura t ₁ (g)	146,34	147,32	145,53
M ₃	Massa do Pic. cheio de água à temp. tx (Dtx/Dt ₁)*(M ₂ -M ₁)+M ₁ (g)	146,30	147,27	145,49
P ₁	Peso da Cápsula de secagem (g)	20,00	20,00	20,00
P ₂	Peso da Cápsula + Provete seco (g)	45,00	45,00	45,00
M ₄	Massa do Provete seco (g)	25,41	25,38	27,25
M ₅	Massa do Picnómetro + Provete + água à temperatura tx (g)	162,25	163,19	162,55
K	Razão entre as densidades da água à temperatura do ensaio e a 20°C	0,999	0,999	0,999
D t ₂₀	Densidade das Partículas (M ₄ /(M ₃ -(M ₅ -M ₄)))*K	2,68	2,68	2,67
Densidade Média das Partículas				2,68

Observações:

Modelo LEC/3.3.1/NP83/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

A.1.5. NP 143 – Limites de Consistência – Ravina 3

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 02

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Turma:

Grupo:

Descrição da amostra: R3 - Cabinda - Angola

Data da realização do ensaio: 18/05/2018

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-143

1. LIMITE DE PLASTICIDADE

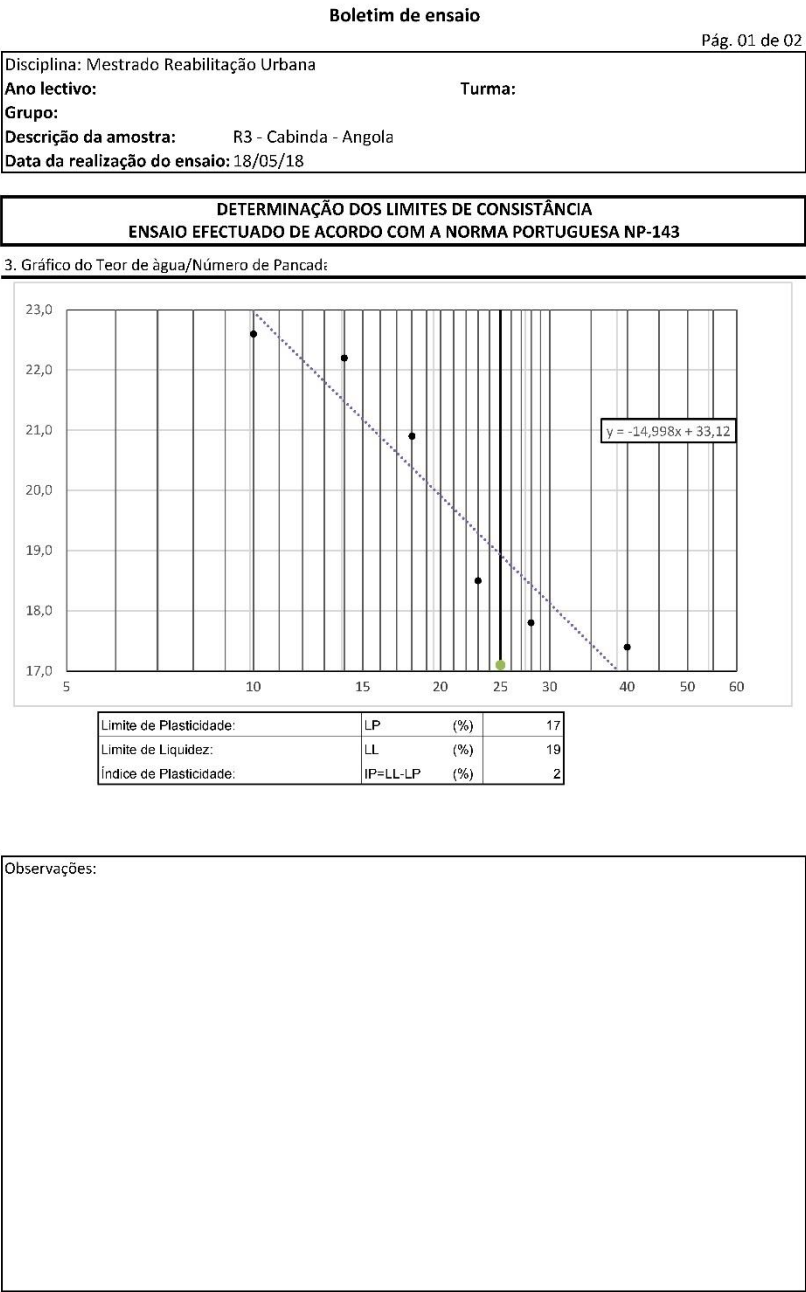
NÚMERO DA CÁPSULA		28	5	10	11
Peso da Cápsula	m1 (g)	69,06	69,06	69,42	69,44
Peso da Cápsula + solo húmido	m2 (g)	76,13	78,53	76,01	76,44
Peso da Cápsula + solo seco	m3 (g)	75,09	77,15	75,04	75,41
Peso do solo seco	Ws=m3-m1 (g)	6,03	8,09	5,62	5,97
Peso da água	Ww=m2-m3 (g)	1,04	1,38	0,97	1,03
TEOR EM ÁGUA	Ww/Ws*100 (%)	17,2	17,1	17,3	17,3
Média dos teores em água	(%)	17,2			

2. LIMITE DE LIQUIDEZ

NÚMERO DA CÁPSULA		30	23	15	2	20	24
Peso da Cápsula	m1 (g)	70,99	69,49	70,44	71,95	70,38	69,58
Peso da Cápsula + solo húmido	m2 (g)	81,41	79,68	79,93	85,33	84,4	77,4
Peso da Cápsula + solo seco	m3 (g)	79,49	77,83	78,29	83,24	82,28	76,24
Peso do solo seco	Ws=m3-m1 (g)	8,5	8,34	7,85	11,29	11,9	6,66
Peso da água	Ww=m2-m3 (g)	1,92	1,85	1,64	2,09	2,12	1,16
TEOR EM ÁGUA	Ww/Ws*100 (%)	22,6	22,2	20,9	18,5	17,8	17,4
Número de Pancadas		10	14	18	23	28	40

Observações:

(continuação)



A.1.6. Corte direto – Ravina 3

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Turma/Dia

Grupo:

Descrição da amostra: R3 - Cabinda - Angola

Data de realização do ensaio: 18/05/2018

ENSAIO DE CORTE

Localização: Sondagem
 Tipo de amostra: Profundidade (m)
 Tensão de Consolidação: 1 (kg / cm²) Tipo de ensaio:
 Caixa de corte nº Lado da caixa: 6 (cm)
 Const. deflec. horizontal 0,01 (mm / div.) Const. deflect. vertical 0,01 (mm / div.)
 Const. deflec. anel dinamométrico 0,002 (mm / div.) Const. anel dinamométrico 0,216 (kg / div.)

Tempo (min.)	Deflec. Vertical		Deflec. Horizontal		Anel dinamométrico			Desloc. horizontal d1-d2 (cm)	Tensão de Corte (kg/cm ²)	Obs.
	Leituras (div)	Comp.(+) Expans.(-) (mm)	Leituras (div)	Desloc. d1 (mm)	Leituras (div)	Desloc. d2 (mm)	Força Corte (kg)			
0,0	789	0,00	756	0,00	781	0,000	0,000	0	0,000	
0,2	788	-0,01	752	0,04	791	0,020	2,160	0,002	0,060	
0,3	788	-0,01	750	0,06	798	0,034	3,672	0,0026	0,102	
0,5	788	-0,01	749	0,07	802	0,042	4,536	0,0028	0,126	
0,7	788	-0,01	747	0,09	808	0,054	5,832	0,0036	0,162	
0,8	788	-0,01	742	0,14	818	0,074	7,992	0,0066	0,222	
1,0	787	-0,02	739	0,17	824	0,086	9,288	0,0084	0,258	
1,5	783	-0,06	718	0,38	842	0,122	13,176	0,0258	0,368	
2,0	782	-0,07	698	0,58	851	0,140	15,120	0,044	0,423	
2,5	781	-0,08	678	0,78	870	0,178	19,224	0,0602	0,539	
3,0	780	-0,09	655	1,01	879	0,196	21,168	0,0814	0,596	
3,5	779	-0,10	630	1,26	880	0,198	21,384	0,1062	0,605	
4,0	779	-0,10	609	1,47	891	0,220	23,760	0,125	0,674	
4,5	780	-0,09	585	1,71	896	0,230	24,840	0,148	0,707	
5,0	781	-0,08	560	1,96	900	0,238	25,704	0,1722	0,735	
5,5	782	-0,07	544	2,12	903	0,244	26,352	0,1876	0,756	
6,0	782	-0,07	512	2,44	903	0,244	26,352	0,2196	0,760	
6,5	784	-0,05	488	2,68	909	0,256	27,648	0,2424	0,800	
7,0	784	-0,05	462	2,94	911	0,260	28,080	0,268	0,816	
7,5	785	-0,04	438	3,18	912	0,262	28,296	0,2918	0,826	
8,0	787	-0,02	412	3,44	913	0,264	28,512	0,3176	0,836	
8,5	788	-0,01	386	3,70	914	0,266	28,728	0,3434	0,846	
9,0	789	0,00	362	3,94	915	0,268	28,944	0,3672	0,856	
9,5	791	0,02	337	4,19	915	0,268	28,944	0,3922	0,860	
10,0	792	0,03	313	4,43	914	0,266	28,728	0,4164	0,858	
10,5	794	0,05	287	4,69	913	0,264	28,512	0,4426	0,855	
11,0	795	0,06	260	4,96	912	0,262	28,296	0,4698	0,853	
11,5										
12,0										
12,5										
13,0										
13,5										
14,0										
Observações:										

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Turma:G2

Grupo:

Descrição da amostra: R3 - Cabinda - Angola

Data de realização do ensaio: 18/05/2018

ENSAIO DE CORTE

Localização:

Sondagem

Tipo de amostra:

Profundidade

(m)

Tensão de Consolidação:

2,00 (kg / cm²)

Tipo de ensaio:

6 (cm)

Caixa de corte nº

Lado da caixa:

Const. deflec. horizontal

0,01 (mm / div.)

Const. deflect. vertical

0,01 (mm / div.)

Const. deflec. anel dinamométrico

0,002 (mm / div.)

Const. anel dinamométrico

0,216 (kg / div.)

Tempo (min.)	Deflec. Vertical		Deflec. Horizontal		Anel dinamométrico			Desloc. horizontal d1-d2 (cm)	Tensão de Corte (kg/cm ²)	Obs.
	Leituras (div)	Comp.(+) Expans.(-) (mm)	Leituras (div)	Desloc. d1 (mm)	Leituras (div)	Desloc. d2 (mm)	Força Corte (kg)			
0,0	689	0,00	778	0,00	790	0,000	0,000	0,000	0,000	
0,2	399	-2,90	775	0,03	796	0,012	1,296	0,002	0,036	
0,3	389	-3,00	774	0,04	800	0,020	2,160	0,002	0,060	
0,5	689	0,00	772	0,06	816	0,052	5,616	0,001	0,156	
0,7	689	0,00	767	0,11	828	0,076	8,208	0,003	0,228	
0,8	688	-0,01	766	0,12	842	0,104	11,232	0,002	0,312	
1,0	688	-0,01	762	0,16	852	0,124	13,392	0,004	0,372	
1,5	685	-0,04	745	0,33	882	0,184	19,872	0,015	0,553	
2,0	683	-0,06	728	0,50	910	0,240	25,920	0,026	0,723	
2,5	681	-0,08	710	0,68	933	0,286	30,888	0,039	0,864	
3,0	679	-0,10	691	0,87	950	0,320	34,560	0,055	0,969	
3,5	678	-0,11	670	1,08	963	0,346	37,368	0,073	1,051	
4,0	677	-0,12	650	1,28	978	0,376	40,608	0,090	1,145	
4,5	676	-0,13	628	1,50	990	0,400	43,200	0,110	1,222	
5,0	676	-0,13	607	1,71	999	0,418	45,144	0,129	1,282	
5,5	676	-0,13	584	1,94	1008	0,436	47,088	0,150	1,342	
6,0	677	-0,12	561	2,17	1014	0,448	48,384	0,172	1,384	
6,5	676	-0,13	537	2,41	1018	0,456	49,248	0,195	1,414	
7,0	677	-0,12	514	2,64	1022	0,464	50,112	0,218	1,444	
7,5	678	-0,11	491	2,87	1026	0,472	50,976	0,240	1,475	
8,0	678	-0,11	471	3,07	1028	0,476	51,408	0,259	1,493	
8,5	679	-0,10	448	3,30	1031	0,482	52,056	0,282	1,517	
9,0	680	-0,09	434	3,44	1033	0,486	52,488	0,295	1,533	
9,5	681	-0,08	405	3,73	1033	0,486	52,488	0,324	1,541	
10,0	682	-0,07	381	3,97	1034	0,488	52,704	0,348	1,554	
10,5	682	-0,07	357	4,21	1034	0,488	52,704	0,372	1,561	
11,0	683	-0,06	332	4,46	1034	0,488	52,704	0,397	1,568	
11,5	683	-0,06	308	4,70	1033	0,486	52,488	0,421	1,568	
12,0	684	-0,05	282	4,96	1032	0,484	52,272	0,448	1,569	
12,5										
13,0										
13,5										
14,0										
Observações:										

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Grupo:

Turma:

Descrição da amostra: R3 - Cabinda - Angola

Data de realização do ensaio: 18/05/2018

ENSAIO DE CORTE

Localização:

Tipo de amostra:

Tensão de Consolidação:

Caixa de corte nº

Const. deflec. horizontal

Const. deflec. anel dinamométrico

Sondagem

Profundidade

Tipo de ensaio:

Lado da caixa:

Const. deflec. vertical

Const. anel dinamométrico

(m)

6 (cm)

0,01 (mm / div.)

0,216 (kg / div.)

Tempo (min.)	Deflec. Vertical		Deflec. Horizontal		Anel dinamométrico			Desloc. horizontal d1-d2 (cm)	Tensão de Corte (kg/cm ²)	Obs.
	Leituras (div)	Comp.(+) Expans.(-) (mm)	Leituras (div)	Desloc. d1 (mm)	Leituras (div)	Desloc. d2 (mm)	Força Corte (kg)			
0,0	746	0,00	772	0,00	823	0,000	0,000	0,000	0,000	
0,2	746	0,00	770	0,02	828	0,010	1,080	0,001	0,030	
0,3	746	0,00	767	0,05	850	0,054	5,832	0,000	0,162	
0,5	746	0,00	763	0,09	866	0,086	9,288	0,000	0,258	
0,7	745	-0,01	760	0,12	881	0,116	12,528	0,000	0,348	
0,8	745	-0,01	757	0,15	898	0,150	16,200	0,000	0,450	
1,0	744	-0,02	752	0,20	912	0,178	19,224	0,002	0,534	
1,5	742	-0,04	739	0,33	953	0,260	28,080	0,007	0,781	
2,0	740	-0,06	723	0,49	990	0,334	36,072	0,016	1,005	
2,5	738	-0,08	709	0,63	1023	0,400	43,200	0,023	1,205	
3,0	736	-0,10	695	0,77	1051	0,456	49,248	0,031	1,375	
3,5	735	-0,11	678	0,94	1088	0,530	57,240	0,041	1,601	
4,0	734	-0,12	660	1,12	1105	0,564	60,912	0,056	1,708	
4,5	733	-0,13	642	1,30	1128	0,610	65,880	0,069	1,851	
5,0	733	-0,13	622	1,50	1150	0,654	70,632	0,085	1,990	
5,5	732	-0,14	606	1,66	1171	0,696	75,168	0,096	2,122	
6,0	732	-0,14	589	1,83	1190	0,734	79,272	0,110	2,243	
6,5	733	-0,13	570	2,02	1205	0,764	82,512	0,126	2,341	
7,0	733	-0,13	553	2,19	1215	0,784	84,672	0,141	2,408	
7,5	733	-0,13	534	2,38	1225	0,804	86,832	0,158	2,477	
8,0	734	-0,12	516	2,56	1235	0,824	88,992	0,174	2,546	
8,5	735	-0,11	498	2,74	1244	0,842	90,936	0,190	2,609	
9,0	737	-0,09	479	2,93	1250	0,854	92,232	0,208	2,654	
9,5	738	-0,08	461	3,11	1253	0,860	92,880	0,225	2,681	
10,0	739	-0,07	441	3,31	1259	0,872	94,176	0,244	2,727	
10,5	741	-0,05	419	3,53	1261	0,876	94,608	0,265	2,750	
11,0	742	-0,04	396	3,76	1263	0,880	95,040	0,288	2,773	
11,5	744	-0,02	372	4,00	1264	0,882	95,256	0,312	2,791	
12,0	746	0,00	349	4,23	1262	0,878	94,824	0,335	2,790	
12,5	747	0,01	325	4,47	1258	0,870	93,960	0,360	2,777	
13,0	749	0,03	309	4,63	1248	0,850	91,800	0,378	2,721	
13,5										
14,0										

Modelo LEC/3.3.1/Ensaio de Corte/1/0

Boletim de Ensaio utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico.

A.1.7. NP 84 – Teor em água (Corte direto) – Ravina 3

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 01

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana		Turma:
Ano lectivo:		
Grupo:		
Descrição da amostra:	R3 - Cabinda - Angola	
Data da realização do ensaio:	18/05/2018	

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-84

CÁPSULA Nº		72	69	60
M1	Peso da Capsula (g)	21,10	21,16	20,16
M2	Peso do queimador a alcool mais tabuleiro + Provete húmido (g)	42,29	49,41	39,09
M3	Peso da cápsula + Provete seco (g)	39,31	46,45	37,24
M2-M3	Peso da água (g)	2,98	2,96	1,85
M3-M1	Peso do provete seco (g)	18,21	25,29	17,08
$\{(M2-M3)/[(M3-M1)*100]$ Teor em água (%)		16,4	11,7	10,8
Média dos Teores em Água (%)		13,0		

Observações:

Modelo LEC/3.3.1/NP84/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

A.1.8. NP 84 – Teor em água (estado natural) – Ravina 5

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 01

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana	
Ano lectivo:	Turma:
Grupo:	
Descrição da amostra:	R5 - Cabinda - Angola
Data da realização do ensaio:	18/05/2018

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-84

CÁPSULA Nº		70	69	60
M1	Peso do queimador a álcool mais tabuleiro (g)	21,28	21,18	20,18
M2	Peso do queimador a álcool mais tabuleiro + Provete húmido (g)	37,73	33,18	31,15
M3	Peso da cápsula + Provete seco (g)	36,07	31,97	30,03
M2-M3	Peso da água (g)	1,66	1,21	1,12
M3-M1	Peso do provete seco (g)	14,79	10,79	9,85
$\{(M2-M3)/(M3-M1)*100\}$ Teor em água (%)		11,2	11,2	11,4
Média dos Teores em Água (%)		11,3		

Observações:

Modelo LEC/3.3.1/NP84/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 02

Disciplina:	Nuno Silva		
Ano lectivo:			
Grupo:		Turma:	
Descrição da amostra:	Ravina 5		
Data de realização do ensaio:	18-05-18		

1 - PENEIRACÃO GROSSA (grãos retidos no peneiro N°10)

[illegible]

Massa total da amostra	$m_T =$	577,40 (g)
Massa do material retido no peneiro N° 10	$m_{10} =$	0,00 (g)
Massa do material passado no peneiro N° 10	$m'_{10} = (m_T - m_{10}) =$	577,40 (g)
Porcentagem de finos	$N_f = 100 \cdot m'_{10} / m_T =$	100,0 (%)

2 - PENEIRACÃO FINA (grãos passados no peneiro N° 10 e retidos no N° 200)

Nº do Peneiro		Nº 20	Nº 40	Nº 60	Nº 140	Nº 200
Massa do material retido (g)	(a)	1,91	9,36	9,65	14,05	6,27
% do material retido	$(a/mc)*100$	2,94	14,39	14,83	21,60	9,64
% referente ao total	$((a/mc)*100)*N/100$	2,94	14,39	14,83	21,60	9,64
% acumulados (retidos)		2,94	17,32	32,16	53,75	63,39

3 - SEDIMENTAÇÃO

Provet	H	Água oxigenada	0 cm ²	Tempo de aquecimento	10 min.
Densímetro	199	Antifloculante	100 cm ²	Tempo de agitação	15 min.
Correções	Menisco C = 0,0005			Provet seco ao ar	ma = 65,51 (g)
				Teor em água	W = 0,7 (%)
	Antiflocul.C' = 0,00272			Provet seco	mb=ma(100/(100+W)) = 65,05 (g)
				Prov. Seco após pré-trat.	mc=65,05 (g)
			Perda pré-trat.	Np=100-(mc(100-W)/ma)	= 0 (%)
Dens Partículas	G =	2,68 (g/cm ³)			
Temp. Média ensaio	T =	21,1 (°C)			
	K =	0,013336		A=(100mb)*(G/(G-1)) =	2,45

t (min)	Temp (°C)	Correção à temp. C°	Leituras Densímetro L	Lc=L+C- C+C°	Z (cm)	Z/t	D=K*(Z/t) ^{1/2} 2	B=1000* (Lc-1)	% A B	% Acumulad s (retidas)
1	21,00	0,00020	1,0125	1,0105	13,65	13,65	0,049	10,5	25,7	74,3
2	21,00	0,00020	1,0120	1,0100	13,78	6,89	0,035	10,0	24,5	75,5
5	21,00	0,00020	1,0115	1,0095	13,91	2,78	0,022	9,5	23,2	76,8
15	21,00	0,00020	1,0110	1,0090	13,17	0,88	0,012	9,0	22,0	78,0
30	21,00	0,00020	1,0100	1,0080	13,44	0,45	0,009	8,0	19,6	80,4
60	21,00	0,00020	1,0100	1,0080	13,44	0,22	0,006	8,0	19,6	80,4
250	21,00	0,00020	1,0100	1,0080	13,44	0,05	0,003	8,0	19,6	80,4
1440	21,00	0,00020	1,0090	1,0070	13,70	0,01	0,001	7,0	17,1	82,9
2880	21,50	0,00030	1,0080	1,0061	13,97	0,00	0,001	6,1	14,9	85,1

Observações:

Modelo LEC/3.3.1/E196/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

(continuação)

LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS, GEOTECNIA E ESTRUTURAS
 SERVIÇO DE APOIO PEDAGÓGICO

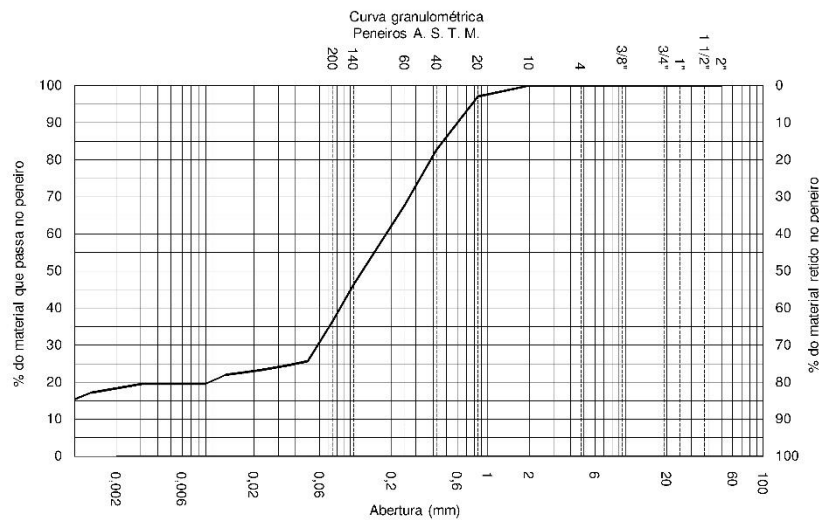
BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 02 de 02

Disciplina:	Nuno Silva	Turma:
Ano lectivo:		
Grupo:		
Descrição da amostra:	Ravina 5	
Data de realização do ensaio:	18-05-18	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A ESPECIFICAÇÃO DO LNEC E196

4 - CURVA GRANULOMÉTRICA



Observações:

Modelo LEC/3.3.1/E196/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

A.1.10. NP 84 – Teor em água (Análise granulométrica) – Ravina 5

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 01

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana	Turma:
Ano lectivo:	
Grupo:	
Descrição da amostra: R5 - Cabinda - Angola	
Data da realização do ensaio: 18/05/2018	

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-84

CÁPSULA Nº		70	69	60
M1	Peso do queimador a álcool mais tabuleiro (g)	21,28	21,16	20,16
M2	Peso do queimador a álcool mais tabuleiro + Provete húmido (g)	44,76	38,71	39,50
M3	Peso da cápsula + Provete seco (g)	44,59	38,58	39,37
M2-M3	Peso da água (g)	0,17	0,13	0,13
M3-M1	Peso do provete seco (g)	23,31	17,42	19,21
$\{(M2-M3)/(M3-M1)*100\}$ Teor em água (%)		0,7	0,7	0,7
Média dos Teores em Água (%)		0,7		

Observações:

A.1.11. NP83 – Densidade das Partículas – Ravina 5

LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS, GEOTECNIA E ESTRUTURAS
 SERVIÇO DE APOIO PEDAGÓGICO

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina: Nuno Silva	Turma:
Ano lectivo:	
Grupo:	
Descrição da amostra: Ravina 5	
Data de realização do ensaio:	18-05-18

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-83

		Pic. Nº 24	Pic. Nº 87	Pic. Nº 76
M ₁	Massa do Picnómetro (g)	45,08	43,49	43,78
t ₁	Temperatura da água (°C)	21,0	21,0	21,0
Dt ₁	Densidade da água à temperatura t ₁	0,99802	0,99802	0,99802
tx	Temperatura do Provete + água (°C)	23,0	23,0	23,0
Dtx	Densidade da água à temperatura tx	0,99757	0,99757	0,99757
M ₂	Massa do Pic. cheio de água à temperatura t ₁ (g)	146,80	143,97	144,76
M ₃	Massa do Pic. cheio de água à temp. tx (Dtx/Dt ₁)*(M ₂ -M ₁)+M ₁ (g)	146,75	143,92	144,71
P ₁	Peso da Cápsula de secagem (g)	20,00	20,00	20,00
P ₂	Peso da Cápsula + Provete seco (g)	45,00	45,00	45,00
M ₄	Massa do Provete seco (g)	25,65	25,52	26,29
M ₅	Massa do Picnómetro + Provete + água à temperatura tx (g)	162,88	159,90	161,20
K	Razão entre as densidades da água à temperatura do ensaio e a 20°C	0,999	0,999	0,999
D b ₂₀	Densidade das Partículas (M ₄ /(M ₃ -(M ₅ -M ₄))*K	2,69	2,67	2,68
Densidade Média das Partículas				2,68

Observações:

Modelo LEC/3.3.1/NP83/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

A.1.12. NP 143 – Limites de Consistência – Ravina 5

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 02

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana	
Ano lectivo:	Turma:
Grupo:	
Descrição da amostra:	R5 - Cabinda - Angola
Data da realização do ensaio: 22/05/2018	

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-143

1. LIMITE DE PLASTICIDADE

NÚMERO DA CÁPSULA		36	6	1	9
Peso da Cápsula	m1 (g)	16,24	16,29	16,12	16,4
Peso da Cápsula + solo húmido	m2 (g)	22,84	23,47	21,85	22,65
Peso da Cápsula + solo seco	m3 (g)	21,83	22,34	20,92	21,65
Peso do solo seco	Ws=m3-m1 (g)	5,59	6,05	4,8	5,25
Peso da água	Ww=m2-m3 (g)	1,01	1,13	0,93	1
TEOR EM ÁGUA	Ww/Ws*100 (%)	18,1	18,7	19,4	19,0
Média dos teores em água	(%)	18,8			

2. LIMITE DE LIQUIDEZ

NÚMERO DA CÁPSULA		16	18	26	21	19
Peso da Cápsula	m1 (g)	69,35	70,2	69,7	69,25	69,46
Peso da Cápsula + solo húmido	m2 (g)	83,49	82,2	78,35	81,12	83,76
Peso da Cápsula + solo seco	m3 (g)	80,78	79,97	76,79	79,03	81,13
Peso do solo seco	Ws=m3-m1 (g)	11,43	9,77	7,09	9,78	11,67
Peso da água	Ww=m2-m3 (g)	2,71	2,23	1,56	2,09	2,63
TEOR EM ÁGUA	Ww/Ws*100 (%)	23,7	22,8	22,003	21,4	22,5
Número de Pancadas		14	18	20	38	40

Observações:

(continuação)

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 02

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Turma:

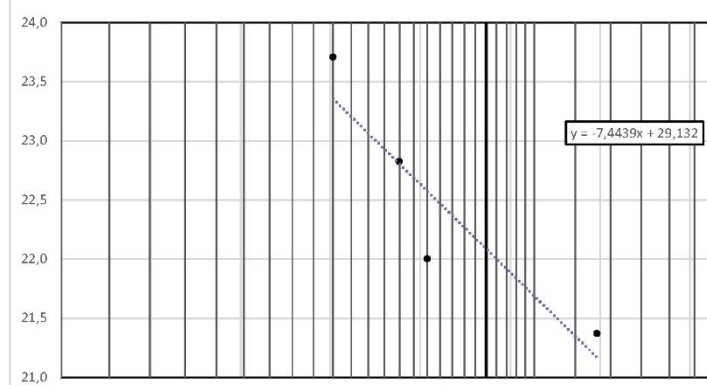
Grupo:

Descrição da amostra: R5 - Cabinda - Angola

Data da realização do ensaio: 22/05/18

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-143

3. Gráfico do Teor de água/Número de Pancada



Limite de Plasticidade:	LP	(%)	19
Limite de Liquidez:	LL	(%)	22
Índice de Plasticidade:	IP=LL-LP	(%)	3

Observações:

Por falta de tempo não foi possível repetir o ensaio, para obter mais um ponto depois das 25 pancadas.

No entanto, obteve-se por manter e assumir este resultado, uma vez que foi possível traçar uma recta apoiada em três pontos correctamente definidos.

Recomenda-se nestes casos a repetição do ensaio.

A.1.13. Corte direto – Ravina 5

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Turma/Dia

Grupo:

Descrição da amostra:

R5 - Cabinda - Angola

Data de realização do ensaio:

18/05/2018

ENSAIO DE CORTE

Localização:

Sondagem

Tipo de amostra:

Profundidade

(m)

Tensão de Consolidação:

1 (kg / cm²)

Tipo de ensaio:

Caixa de corte nº

Lado da caixa:

6 (cm)

Const. deflec. horizontal

0,01 (mm / div.)

Const. deflect. vertical

0,01 (mm / div.)

Const. deflec. anel dinamométrico

0,002 (mm / div.)

Const. anel dinamométrico

0,216 (kg / div.)

Tempo (min.)	Deflec. Vertical		Deflec. Horizontal		Anel dinamométrico			Desloc. horizontal d1-d2 (cm)	Tensão de Corte (kg/cm2)	Obs.
	Leituras (div)	Comp.(+) Expans.(-) (mm)	Leituras (div)	Desloc. d1 (mm)	Leituras (div)	Desloc. d2 (mm)	Força Corte (kg)			
0,0	495	0,00	1736	0,00	780	0,000	0,000	0,000	0,000	
0,2	495	0,00	1732	0,04	783	0,006	0,648	0,003	0,018	
0,3	495	0,00	1732	0,04	790	0,020	2,160	0,002	0,060	
0,5	495	0,00	1727	0,09	798	0,036	3,888	0,005	0,108	
0,7	495	0,00	1722	0,14	808	0,056	6,048	0,008	0,168	
0,8	494	-0,01	1717	0,19	816	0,072	7,776	0,012	0,216	
1,0	492	-0,03	1710	0,26	823	0,086	9,288	0,017	0,259	
1,5	483	-0,12	1688	0,48	838	0,116	12,528	0,036	0,350	
2,0	477	-0,18	1665	0,71	846	0,132	14,256	0,058	0,400	
2,5	471	-0,24	1640	0,96	852	0,144	15,552	0,082	0,438	
3,0	466	-0,29	1616	1,20	859	0,158	17,064	0,104	0,482	
3,5	461	-0,34	1593	1,43	862	0,164	17,712	0,127	0,503	
4,0	456	-0,39	1568	1,68	868	0,176	19,008	0,150	0,542	
4,5	452	-0,43	1542	1,94	872	0,184	19,872	0,176	0,589	
5,0	448	-0,47	1516	2,20	878	0,196	21,168	0,200	0,608	
5,5	445	-0,50	1488	2,48	879	0,198	21,384	0,228	0,617	
6,0	442	-0,53	1465	2,71	881	0,202	21,816	0,251	0,632	
6,5	439	-0,56	1438	2,98	884	0,208	22,464	0,277	0,654	
7,0	436	-0,59	1412	3,24	888	0,216	23,328	0,302	0,682	
7,5	433	-0,62	1388	3,48	890	0,220	23,760	0,326	0,698	
8,0	431	-0,64	1363	3,73	892	0,224	24,192	0,351	0,714	
8,5	429	-0,66	1338	3,98	895	0,230	24,840	0,375	0,736	
9,0	425	-0,70	1315	4,21	896	0,232	25,056	0,398	0,745	
9,5	423	-0,72	1290	4,46	898	0,236	25,488	0,422	0,762	
10,0	420	-0,75	1262	4,74	900	0,240	25,920	0,450	0,778	
10,5	418	-0,77	1236	5,00	901	0,242	26,136	0,476	0,789	
11,0	415	-0,80	1210	5,26	902	0,244	26,352	0,502	0,799	
11,5	415	-0,80	1183	5,53	904	0,248	26,784	0,528	0,816	
12,0	412	-0,83	1154	5,82	905	0,250	27,000	0,557	0,827	
12,5	410	-0,85	1131	6,05	906	0,252	27,216	0,580	0,837	
13,0	409	-0,86	1107	6,29	907	0,254	27,432	0,604	0,847	
13,5	407	-0,88	1081	6,55	909	0,258	27,864	0,629	0,865	
14,0	405	-0,90	1056	6,80	910	0,260	28,080	0,654	0,875	
14,5	403	-0,92	1030	7,06	911	0,262	28,296	0,680	0,886	
15,0	402	-0,93	1007	7,29	912	0,264	28,512	0,703	0,897	
15,5	400	-0,95	978	7,58	913	0,266	28,728	0,731	0,909	
16,0	399	-0,96	953	7,83	913	0,266	28,728	0,756	0,913	
16,5	398	-0,97	926	8,10	913	0,266	28,728	0,783	0,918	
17,0	397	-0,98	900	8,36	913	0,266	28,728	0,809	0,922	
17,5	396	-0,99	874	8,62	913	0,266	28,728	0,835	0,927	
18,0	395	-1,00	848	8,88	913	0,266	28,728	0,861	0,932	
18,5	394	-1,01	822	9,14	912	0,264	28,512	0,888	0,930	
19,0	392	-1,03	797	9,39	912	0,264	28,512	0,913	0,934	
19,5	391	-1,04	771	9,65	912	0,264	28,512	0,939	0,939	
20,0	391	-1,04	745	9,91	912	0,264	28,512	0,965	0,944	
20,5										
21,0										
Observações:										

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Turma:G2

Grupo:

Descrição da amostra: R5 - Cabinda - Angola

Data de realização do ensaio: 18/05/2018

ENSAIO DE CORTE

Localização: Sondagem
 Tipo de amostra: Profundidade (m)
 Tensão de Consolidação: 2,00 (kg / cm²) Tipo de ensaio: 6 (cm)
 Caixa de corte nº Lado da caixa:
 Const. deflec. horizontal 0,01 (mm / div.) Const. deflect. vertical 0,01 (mm / div.)
 Const. deflec. anel dinamométrico 0,002 (mm / div.) Const. anel dinamométrico 0,216 (kg / div.)

Tempo (min.)	Deflec. Vertical		Deflec. Horizontal		Anel dinamométrico			Desloc. horizontal d1-d2 (cm)	Tensão de Corte (kg/cm2)	Obs.
	Leituras (div)	Comp.(+) Expans.(-) (mm)	Leituras (div)	Desloc. d1 (mm)	Leituras (div)	Desloc. d2 (mm)	Força Corte (kg)			
0,0	439	0,00	1699	0,00	780	0,000	0,000	0,000	0,000	
0,2	438	-0,01	1699	0,00	781	0,002	0,216	0,000	0,006	
0,3	438	-0,01	1697	0,02	784	0,008	0,864	0,001	0,024	
0,5	435	-0,04	1693	0,06	800	0,040	4,320	0,002	0,120	
0,7	433	-0,06	1692	0,07	810	0,060	6,480	0,001	0,180	
0,8	431	-0,08	1686	0,13	818	0,076	8,208	0,005	0,228	
1,0	428	-0,11	1681	0,18	822	0,084	9,072	0,010	0,252	
1,5	420	-0,19	1662	0,37	840	0,120	12,960	0,025	0,362	
2,0	413	-0,26	1645	0,54	860	0,160	17,280	0,038	0,483	
2,5	405	-0,34	1625	0,74	878	0,196	21,168	0,054	0,593	
3,0	400	-0,39	1605	0,94	895	0,230	24,840	0,071	0,698	
3,5	392	-0,47	1586	1,13	910	0,260	28,080	0,087	0,791	
4,0	385	-0,54	1560	1,39	923	0,286	30,888	0,110	0,874	
4,5	380	-0,59	1538	1,61	936	0,312	33,696	0,130	0,957	
5,0	375	-0,64	1515	1,84	948	0,336	36,288	0,150	1,034	
5,5	371	-0,68	1491	2,08	958	0,356	38,448	0,172	1,100	
6,0	366	-0,73	1468	2,31	963	0,366	39,528	0,194	1,135	
6,5	363	-0,76	1442	2,57	972	0,384	41,472	0,219	1,196	
7,0	360	-0,79	1419	2,80	977	0,394	42,552	0,241	1,231	
7,5	356	-0,83	1398	3,01	981	0,402	43,416	0,261	1,261	
8,0	353	-0,86	1375	3,24	987	0,414	44,712	0,283	1,303	
8,5	350	-0,89	1351	3,48	990	0,420	45,360	0,306	1,328	
9,0	348	-0,91	1327	3,72	992	0,424	45,792	0,330	1,346	
9,5	345	-0,94	1305	3,94	998	0,436	47,088	0,350	1,389	
10,0	342	-0,97	1276	4,23	1002	0,444	47,952	0,379	1,422	
10,5	340	-0,99	1250	4,49	1007	0,454	49,032	0,404	1,460	
11,0	338	-1,01	1226	4,73	1010	0,460	49,680	0,427	1,486	
11,5	335	-1,04	1200	4,99	1012	0,464	50,112	0,453	1,506	
12,0	333	-1,06	1187	5,12	1016	0,472	50,976	0,465	1,535	
12,5	331	-1,08	1151	5,48	1020	0,480	51,840	0,500	1,571	
13,0	329	-1,10	1129	5,70	1022	0,484	52,272	0,522	1,590	
13,5	327	-1,12	1105	5,94	1025	0,490	52,920	0,545	1,617	
14,0	325	-1,14	1082	6,17	1028	0,496	53,568	0,567	1,643	
14,5	324	-1,15	1058	6,41	1030	0,500	54,000	0,591	1,664	
15,0	323	-1,16	1033	6,66	1031	0,502	54,216	0,616	1,678	
15,5	321	-1,18	1009	6,90	1055	0,550	59,400	0,635	1,845	
16,0	319	-1,20	983	7,16	1039	0,518	55,944	0,664	1,747	
16,5	318	-1,21	957	7,42	1040	0,520	56,160	0,690	1,763	
17,0	316	-1,23	932	7,67	1042	0,524	56,592	0,715	1,785	
17,5	315	-1,24	909	7,90	1045	0,530	57,240	0,737	1,813	
18,0	314	-1,25	884	8,15	1048	0,536	57,888	0,761	1,842	
18,5	313	-1,26	860	8,39	1049	0,538	58,104	0,785	1,857	
19,0	311	-1,28	835	8,64	1051	0,542	58,536	0,810	1,880	
19,5	311	-1,28	813	8,86	1051	0,542	58,536	0,832	1,888	
20,0	310	-1,29	790	9,09	1051	0,542	58,536	0,855	1,896	
20,5	309	-1,30	865	10,34	1051	0,542	58,536	0,980	1,943	
21,0	309	-1,30	640	10,59	1050	0,540	58,320	1,005	1,946	
Observações:										

BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 01 de 01

Disciplina Mestrado Reabilitação Urbana

Ano lectivo:

Turma:

Grupo:

Descrição da amostra:

R5 - Cabinda - Angola

Data de realização do ensaio:

18/05/2018

ENSAIO DE CORTE

Localização:

Sondagem

Tipo de amostra:

Profundidade

(m)

Tensão de Consolidação:

4 (kg / cm²)

Tipo de ensaio:

Caixa de corte nº

Lado da caixa:

6 (cm)

Const. deflec. horizontal

0,01 (mm / div.)

Const. deflect. vertical

0,01 (mm / div.)

Const. deflec. anel dinamométrico

0,002 (mm / div.)

Const. anel dinamométrico

0,216 (kg / div.)

Tempo (min.)	Deflec. Vertical		Deflec. Horizontal		Anel dinamométrico			Desloc. horizontal d1-d2 (cm)	Tensão de Corte (kg/cm ²)	Obs.
	Leituras (div)	Comp.(+) Expans.(-) (mm)	Leituras (div)	Desloc. d1 (mm)	Leituras (div)	Desloc. d2 (mm)	Força Corte (kg)			
0,0	251	0,00	722	0,00	845	0,000	0,000	0,000	0,000	
0,2	251	0,00	716	0,06	872	0,054	5,832	0,001	0,162	
0,3	250	-0,01	714	0,08	883	0,076	8,208	0,000	0,228	
0,5	248	-0,03	710	0,12	900	0,110	11,880	0,001	0,330	
0,7	246	-0,05	708	0,14	912	0,134	14,472	0,001	0,402	
0,8	244	-0,07	706	0,16	923	0,156	16,848	0,000	0,468	
1,0	240	-0,11	699	0,23	938	0,186	20,088	0,004	0,558	
1,5	234	-0,17	682	0,40	967	0,244	26,352	0,016	0,734	
2,0	225	-0,26	665	0,57	987	0,284	30,672	0,029	0,856	
2,5	219	-0,32	648	0,74	1015	0,340	36,720	0,040	1,027	
3,0	213	-0,38	630	0,92	1038	0,386	41,688	0,053	1,168	
3,5	208	-0,43	611	1,11	1058	0,426	46,008	0,068	1,293	
4,0	204	-0,47	591	1,31	1074	0,458	49,464	0,085	1,394	
4,5	199	-0,52	579	1,43	1090	0,490	52,920	0,094	1,493	
5,0	195	-0,56	548	1,74	1103	0,516	55,728	0,122	1,580	
5,5	192	-0,59	526	1,96	1112	0,534	57,672	0,143	1,641	
6,0	190	-0,61	506	2,16	1121	0,552	59,616	0,161	1,702	
6,5	187	-0,64	485	2,37	1127	0,564	60,912	0,181	1,745	
7,0	185	-0,66	463	2,59	1133	0,576	62,208	0,201	1,788	
7,5	182	-0,69	442	2,80	1139	0,588	63,504	0,221	1,832	
8,0	180	-0,71	421	3,01	1145	0,600	64,800	0,241	1,875	
8,5	178	-0,73	400	3,22	1151	0,612	66,096	0,261	1,919	
9,0	176	-0,75	378	3,44	1158	0,626	67,608	0,281	1,970	
9,5	174	-0,77	353	3,69	1162	0,634	68,472	0,306	2,004	
10,0	172	-0,79	329	3,93	1168	0,646	69,768	0,328	2,050	
10,5	169	-0,82	307	4,15	1173	0,656	70,848	0,349	2,090	
11,0	168	-0,83	283	4,39	1177	0,664	71,712	0,373	2,124	
11,5	165	-0,86	261	4,61	1180	0,670	72,360	0,394	2,151	
12,0	164	-0,87	245	4,77	1181	0,672	72,576	0,410	2,164	
12,5	163	-0,88	212	5,10	1170	0,650	70,200	0,445	2,106	
13,0	163	-0,88	188	5,34	1160	0,630	68,040	0,471	2,051	
13,5	162	-0,89	162	5,60	1151	0,612	66,096	0,499	2,002	
14,0										
14,5										
Observações:										

Modelo LEC/3.3.1/Ensaio de Corte/1/0

Boletim de Ensaio utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico.

A.1.14. NP 84 – Teor em água (Corte direto) – Ravina 5

Boletim de ensaio

Pág. 01 de 01

Disciplina: Mestrado Reabilitação Urbana	Turma:
Ano lectivo:	
Grupo:	
Descrição da amostra: R5 - Cabinda - Angola	
Data da realização do ensaio: 18/05/2018	

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA
ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA NP-84

CÁPSULA Nº		62	70	67
M1	Peso da Capsula (g)	21,08	21,27	20,87
M2	Peso do queimador a alcool mais tabuleiro + Provete húmido (g)	48,20	54,10	51,55
M3	Peso da cápsula + Provete seco (g)	46,17	51,61	49,19
M2-M3	Peso da água (g)	2,03	2,49	2,36
M3-M1	Peso do provete seco (g)	25,09	30,34	28,32
$\{(M2-M3)/[(M3-M1)*100]$ Teor em água (%)		8,1	8,2	8,3
Média dos Teores em Água (%)		8,2		

Observações:

Modelo LEC/3.3.1/NP84/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

A.1.15. Boletins de ensaio – Análise Granulométrica – Ravina 3 e 5

LABORATÓRIOS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE MATERIAIS, GEOTECNIA E ESTRUTURAS SERVIÇO DE APOIO PEDAGÓGICO

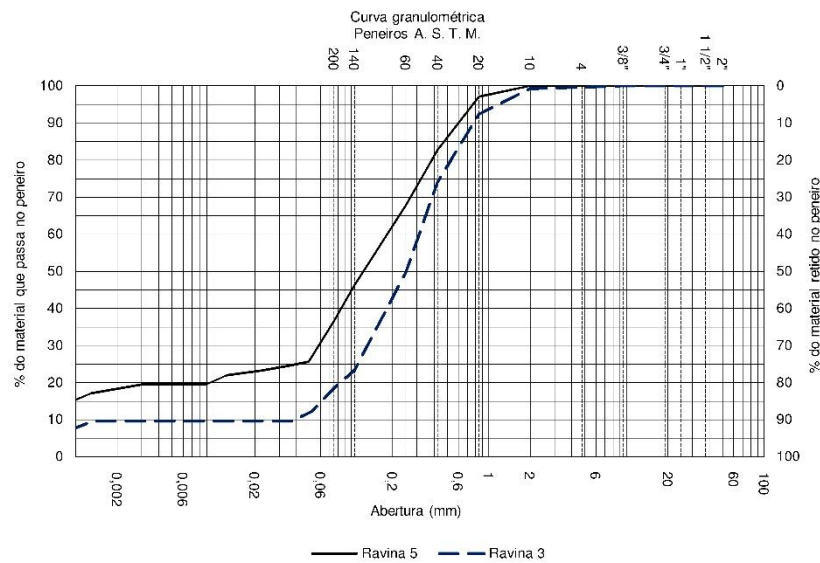
BOLETIM DE ENSAIO

Pág. 02 de 02

Disciplina:	Nuno Silva	Turma:
Ano lectivo:		
Grupo:		
Descrição da amostra: Ravina 3 e 5		
Data de realização do ensaio:		

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS ENSAIO EFECTUADO DE ACORDO COM A ESPECIFICAÇÃO DO LNEC E196

4 - CURVA GRANULOMÉTRICA



Observações:

Modelo LEC/3.3.1/E196/2/0 - Boletim utilizado exclusivamente no Apoio Pedagógico

A.2. Declarações e autorizações especiais

A.2.1. Declaração de autorização de transporte de solo



REPÚBLICA DE ANGOLA
GOVERNO DA PROVÍNCIA DE CABINDA
SECRETARIA PROVINCIAL DA INDÚSTRIA, GEOLOGIA E MINAS

DECLARAÇÃO Nº 048 / SPIGM-DAF/2017

===== Para efeitos de estudo de Tese de Mestrado que tem como tema “
Erosão dos Solos de Angola-Caso de estudo, Cabinda (Ravina do Caio)”
inserida no Mestrado de Reabilitação Urbana, oferecida pelo Instituto Politécnico de
Tomar-Portugal, se declara que **NUNO SILVA-Engº Civil**, é autorizado a trasladar
os solos (siltosargiloso) para Portugal, com o objectivo de efectuar análises
laboratoriais e complementar os resultados da pesquisa.=====

=====

SECRETARIA PROVINCIAL DA INDÚSTRIA, GEOLOGIA E MINAS, EM CABINDA,
AOS 27 DE DEZEMBRO DE 2017.

O SECRETÁRIO PROVINCIAL
- GERALDO NDUBO PAULO -



A.2.2. Declaração de autorização de uso de informação – BDM



Luanda, 09 de Julho de 2018

Declaração

(para autorização de utilização de documentos)

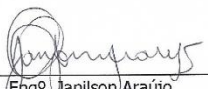
Exmo. Sr. ou Sr^a:

A empresa BDM – Engenharia e Tecnologia, na pessoa do seu diretor geral, Eng.^o Janilson Araújo, vem por este meio autorizar a utilização/publicação de documentos como: projectos executivos, fotos, vídeos, peças escritas e peças desenhadas, de forma parcial ou na íntegra, da autoria da BDM – Engenharia e Tecnologia.

A autorização, tem validade no trabalho final de Mestrado em Reabilitação Urbana, lecionado pelo Instituto Politécnico de Tomar, com o tema "ESTUDO E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM SOLOS EROSIVOS — ESTUDO DE CASO CABINDA – ANGOLA", realizado pelo aluno nº 8296 - Nuno Filipe Ribeiro da Silva, com o numero de cartão de cidadão 12501841 0 ZY2.

Sem mais, subscrevemo-nos e reiteramos nossos votos de respeito e consideração.

Atenciosamente,



Eng.º Janilson Araújo
Diretor Geral